

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Železobetonový skelet na poddolovaném území

Reinforced Concrete Frame Structure in Undermined Area

Student:

Zdeněk Svobodník

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Karel Kubečka, Ph.D.

Ostrava 2013

Zadání bakalářské práce

Student: **Zdeněk Svobodník**

Studijní program: B3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: 3607R037 Konstrukce staveb

Téma: **Železobetonový skelet na poddolovaném území**
Reinforced concrete frame structure in undermined area

Zásady pro vypracování:

Proveďte návrh a posouzení železobetonového skeletu průmyslového objektu v oblasti zasažené důlní činností (to znamená objektu na poddolovaném území) se současným působením seizmických vlivů přičemž práce bude obsahovat:

1. Studii působících vlivů na danou konstrukci, přičemž jednoduchý tvar určí vedoucí práce před zahájením prací.
2. Zatížení na konstrukci zaměřenou na účinky důlních vlivů a účinky seizmicity s určením hlavních zásad návrhu staveb na tyto účinky
3. Statický výpočet a dimenzování vybraných prvků konstrukce – průvlak, sloup, táhlo, základová patka, na kombinace zatížení včetně důlních vlivů a seizmicity.
4. Vyhodnocení rozdílu mezi stavbou s uvedenými vlivy a bez nich
5. Výkres tvaru konstrukce (dilatačního pole) a výkresy výztuže dimenzovaných prvků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. ČNI, 2004.
- ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové úhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. ČNI, 2004.
- ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem. ČNI, 2005.
- ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem. ČNI, 2007.
- ČSN 73 0039 Stavby na poddolovaném území
- BAŽANT Z., BRADÁČ J. A KOL.: Plošné betonové konstrukce. CERM s.r.o., VUT Brno, 1998.
- BRADÁČ J.: Základové konstrukce, Akademické nakladatelství CERM Brno, s.r.o., 1994.
- ČAPEK, M. – RŮŽIČKA, M.: Montované betonové skeletové konstrukce, SNTL Praha, 1976.
- LOHMEYER, C. O. G, BERGMANN, H., EBELING, K.: Stahlbetonbau. Bemessung – Konstruktion – Ausführung, 7. Auflage, B. G. TEUBNER Verlag, Wiesbaden, 2006.
- MARTIN, L. H., PURKISS, J.A.: Concrete Design to EN 1992, Elsevier 2006.
- BRADÁČ, J. Betonové konstrukce 1. část: Dimenzování prvků betonových konstrukcí, VŠB-TU Ostrava, 1997.
- PROCHÁZKA J., BRADÁČ J. A KOL.: Betonové konstrukce - Příklady navrhování podle Eurocode 2. Procon Praha, 1997.
- Další odborná literatura z oblasti seizmicity a důlních vlivů.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

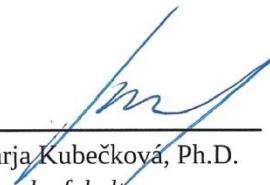
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Karel Kubečka, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2012

Datum odevzdání: 06.05.2013



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Darja Kubečková, Ph.D.
děkanka fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 6. 5. 2013

.....
Zdeněk Svobodník

Prohlašuji, že:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же оdevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 6. 5. 2013

.....

Zdeněk Svobodník

Anotace:

Svobodník, Z.: *Železobetonový skelet na poddolovaném území*; 167 stran formátu A4, bakalářská práce; Ostrava, VŠB – TU Ostrava, Fakulta stavební, katedra konstrukcí, 2013; vedoucí práce Kubečka, K.

Tématem práce je železobetonový skelet na poddolovaném území. Práce se zabývá návrhem průmyslového skeletového objektu z monolitického železobetonu, který se nachází v Ostravě. Skeletový nosný systém konstrukce je navržený podle norem ČSN 73 0039, ČSN EN 1991 a ČSN EN 1992. Úvod práce je věnován problematice poddolování a seizmicity, přičemž těžiště této práce právě spočívá v návrhu a posouzení železobetonové konstrukce na účinky poddolování. Hlavní část práce se týká výpočtu zatížení, návrhu a posouzení železobetonových prvků na mezní stavy. Závěr této práce se zabývá srovnáním železobetonové konstrukce navržené bez vlivu poddolování a konstrukce odolné proti účinkům poddolování.

Klíčová slova:

železobetonový skelet, poddolování, poddolované území, objekt na poddolovaném území, seizmicita, návrh a posouzení konstrukce, deska, trám, průvlak, sloup, patka, táhlo

Annotation:

Svobodník, Z.: *Reinforced Concrete Frame Structure in Undermined Area*; 167 A4 pages, bachelor work; Ostrava, VSB – TU Ostrava, Faculty of Civil Engineering, Department of Structures, 2013; supervisor Kubečka, K.

The topic of the work is a reinforced concrete frame on an undermined territory. This work deals with the design of frame of an industrial reinforced concrete building, which is located in Ostrava. The frame structure is designed according to the technical standards CSN 73 0039, CSN EN 1991 and EN 1992. The introduction is devoted to an effects of an undermining and a seismicity. The work focuses on a design and an assessment of reinforced concrete structures affected by undermining. The main part of the work includes the load calculation, the limit state design and the assessment of the reinforced concrete elements. The conclusions of this work compare a reinforced concrete structure designed as

non-resistant to the undermining and the reinforced concrete structure that is resistant to the effects of undermining.

Key words:

reinforced concrete frame, undermining, undermined territory, building on an undermined territory, seismicity, design and an assessment of structures, slab, beam, girder, pillar, foundation block, rod

Obsah

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ	2
1 ÚVOD	3
2 PODDOLOVÁNÍ	4
2.1 POVRCHOVÉ ZMĚNY PŘI HLUBINNÉ TĚŽBĚ	4
2.2 STAVENIŠTĚ NA PODDOLOVANÉM ÚZEMÍ	6
2.3 ZAJIŠTĚNÍ OBJEKTU PROTI ÚČINKŮM PODDOLOVÁNÍ.....	8
2.4 ZÁSADY NAVRHOVÁNÍ OBJEKTŮ NA PODDOLOVANÉM ÚZEMÍ	9
2.4.1 Korekční součinitele	9
2.4.2 Svislý pokles	10
2.4.3 Vodorovný posuv	12
2.4.4 Další zásady	14
2.5 POŽADAVKY NA KONSTRUKCE	16
2.5.1 Konstrukční systémy.....	16
2.5.2 Základové konstrukce	17
2.5.3 Dilatační spáry.....	18
2.5.4 Kluzné spáry.....	19
2.5.5 Další zásady	20
2.5.6 Zásady skeletových objektů	21
3 SEIZMICITA	23
3.1 ZEMĚTŘESENÍ OBECNĚ.....	23
3.2 SEIZMICKÉ OBLASTI ČR	24
3.3 SEIZMICKÉ ZATÍŽENÍ A ODEZVA KONSTRUKCE.....	24
3.4 KONSTRUKČNÍ ZÁSADY	27
4 MODEL KONSTRUKCE, VÝPOČET ZATÍŽENÍ, ZATĚŽOVACÍ STAVY	28
4.1 STROPNÍ DESKA	28
4.1.1 Model konstrukce	28
4.1.2 Zatížení stálé	29
4.1.3 Zatížení užitné	29
4.1.4 Kombinace zatěžovacích stavů, obalová křivka	30
4.2 STROPNÍ TRÁM.....	31

4.2.1 Model konstrukce	31
4.2.2 Zatížení stálé	32
4.2.3 Zatížení užité	32
4.2.4 Kombinace zatěžovacích stavů, obalová křivka	33
4.3 STŘEŠNÍ DESKA	34
4.3.1 Model konstrukce	34
4.3.2 Zatížení stálé	34
4.3.3 Zatížení sněhem	35
4.3.4 Zatížení větrem	35
4.3.5 Kombinace zatěžovacích stavů, obalová křivka	39
4.4 STŘEŠNÍ TRÁM	39
4.4.1 Model konstrukce	39
4.4.2 Zatížení stálé	40
4.4.3 Zatížení sněhem	40
4.4.4 Zatížení větrem	41
4.4.5 Kombinace zatěžovacích stavů, obalová křivka	42
4.5 RÁM	43
4.5.1 Model konstrukce	44
4.5.2 Zatížení stálé	45
4.5.3 Zatížení užité	46
4.5.4 Zatížení sněhem	48
4.5.5 Zatížení větrem	50
4.5.6 Kombinace zatěžovacích stavů bez vlivu poddolování, obalová křivka	53
4.5.7 Zatížení seizmicitou	57
4.5.8 Zatížení poddolováním	57
4.5.9 Kombinace zatěžovacích stavů s vlivem poddolování, obalová křivka	63
5 STATICKÝ VÝPOČET KONSTRUKCE BEZ Vlivu PODDOLOVÁNÍ.....	74
5.1 ŽB STROPNÍ DESKA	74
5.2 ŽB STROPNÍ TRÁM	79
5.3 ŽB STROPNÍ PRŮVLAK	87
5.4 ŽB STŘEŠNÍ DESKA	96
5.5 ŽB STŘEŠNÍ TRÁM	102
5.6 ŽB STŘEŠNÍ PRŮVLAK	109

5.7 ŽB SLOUP	117
5.8 ŽB PATKA.....	124
6 STATICKÝ VÝPOČET KONSTRUKCE S VLIVEM PODDOLOVÁNÍ.....	132
6.1 ŽB TÁHLO	132
6.2 ŽB STROPNÍ PRŮVLAK	138
6.4 ŽB STŘEŠNÍ PRŮVLAK.....	139
6.4 ŽB SLOUP	140
6.5 ŽB PATKA.....	143
7 SROVNÁNÍ NÁVRHU KONSTRUKCE BEZ VLIVU PODDOLOVÁNÍ A S VLIVEM PODDOLOVÁNÍ.....	152
7.1 STROPNÍ PRŮVLAK.....	152
7.2 STŘEŠNÍ PRŮVLAK	153
7.3 SLOUPY	153
7.4 PATKA	154
7.5 TÁHLO.....	155
7.6 CELKOVÉ SROVNÁNÍ.....	155
8 ZÁVĚR.....	157
9 POUŽITÁ LITERATURA	160
9.1 NORMY.....	160
9.2 LITERATURA.....	160
9.3 INTERNETOVÉ ZDROJE	161
10 SEZNAM OBRÁZKŮ.....	162
11 SEZNAM TABULEK	166
12 SEZNAM PŘÍLOH	167

Seznam použitého značení

ŽB - železobeton

Ostatní použité značení, které není v této části uvedeno, je uvedeno v textu. Není-li ani popsáno tam, je ve shodě s platnými normami, na které odkazováno.

1 Úvod

Téma bakalářské práce je železobetonový skelet na poddolovaném území. Práce je založena na výpočtu vnitřních sil a dimenzování železobetonového skeletu bez vlivu poddolování s vlivem poddolování. Práce bude srovnávat stav, kdy je vliv poddolování zanedbán a kdy zanedbán není. Na konci práce se bude nacházet toto srovnání. Navrhovaný objekt se nachází v Ostravě.

Téma jsem zvolil z důvodu, že se této problematice ve škole nevěnuje tak velké pozornosti, jak by se asi mělo a také proto, že bydlím v Moravskoslezském kraji, kde by se podle evropských norem mělo s tímto zatížením počítat.

Práce se bude skládat ze šesti částí. První část, nazvaná Poddolování, se bude věnovat vysvětlení poddolování a konstrukčním zásadám při návrhu na poddolovaném území. Druhá část se bude věnovat problematice seizmicity, která má s poddolováním určitou spojitost. Třetí část práce bude obsahovat výpočet jednotlivých zatížení, která působí na konstrukci. Čtvrtá část se bude věnovat dimenzováním prvků bez vlivu poddolování. V páté části bude dimenzování prvků s vlivem poddolování. Poslední část práce pak srovná konstrukci dimenzovanou na vliv poddolování s konstrukcí, která na vliv poddolování navržena nebyla.

2 Poddolování

Moravskoslezský kraj, zejména pak Ostravsko-Karvinský revír, je známý těžbou černého uhlí. V oblasti Ostravy již byla těžba ukončena, v oblasti Karvinska těžba stále probíhá, dokonce se diskutuje i o jejím rozšíření. S tímto ohledem bychom měli v těchto oblastech navrhnout konstrukce nejen na základní typy zatížení, ale také bychom měli konstrukce navrhnout i na vliv poddolování, protože účinky poddolování budou ještě po mnoho let ovlivňovat toto území a deformovat jeho povrch.

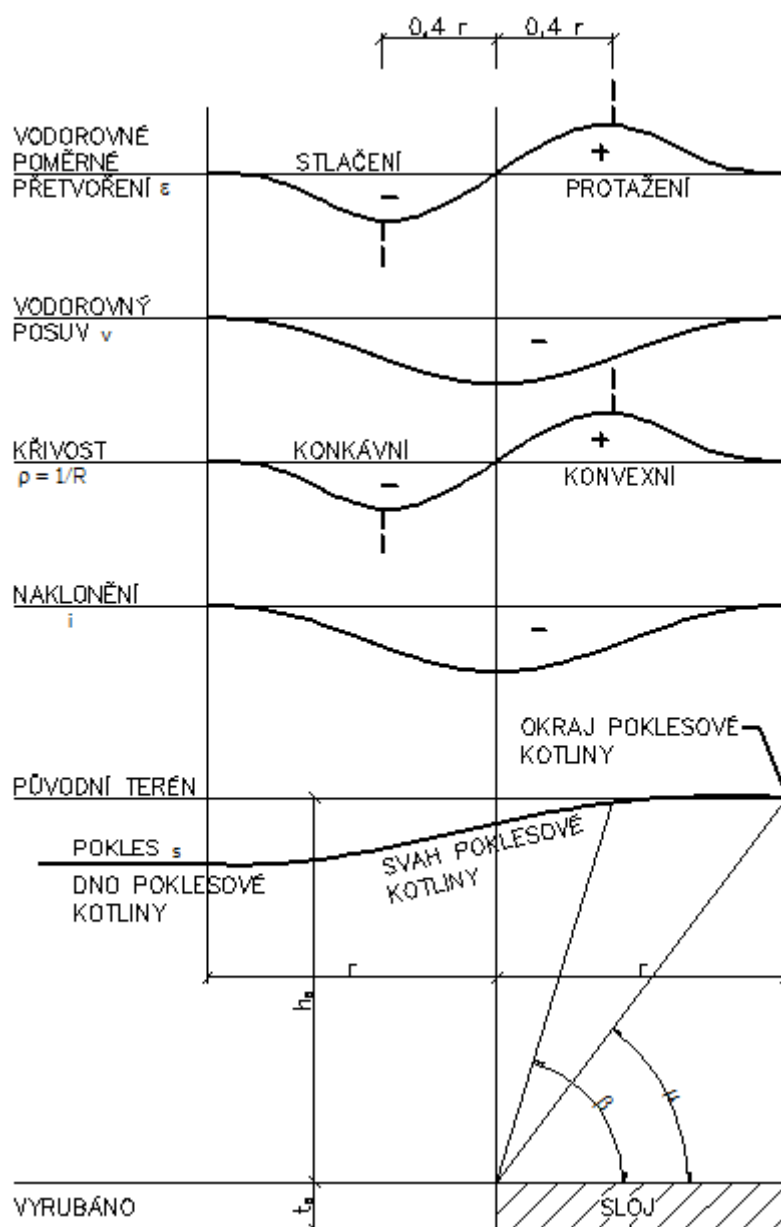
Těžba má své kladné i záporné stránky. Mezi kladné stránky patří samostatnost země na surovinách nebo zaměstnanost obyvatelstva. Nevýhody těžby jsou nenávratné ztráty na objektech a přírodě. Uhlí se využívá v tepelných elektrárnách, ve kterých se stále vyrábí asi polovina elektrické energie vyráběná v České republice. Navíc uhlím stále topí mnoho domácností. Při pohledu na zdevastovanou přírodu v severních Čechách a nenávratných škodách i jinde můžeme ještě po mnoho desetiletí očekávat důsledky poddolování na našem území.

Norma, zabývající se vlivem poddolování je stále platná ČSN 73 0039 [1]. Dále se účinky poddolování věnuje dvoudílná kniha Jiřího Bradáče Účinky poddolování a ochrana objektů [9] [10].

2.1 Povrchové změny při hlubinné těžbě

Při hlubinné těžbě vzniká na povrchu poklesová kotlina. Poklesová kotlina vznikla poklesem nadložních vrstev do vyrubaného prostoru a má deformace povrchu spojitě nebo nespojitě, objevující se po určité době od zahájení těžby. Parametry poklesové kotliny závisí na velikosti důlního díla, geologické stavbě nadloží, hloubce dobývání, mezním úhlu dobývání a mocnosti sloje.

Poklesová kotlina má 2 části: vnitřní a okrajovou. Ve vnitřní části poklesové kotliny se budova chová, jakoby byla na nepoddolovaném území. V okrajové části budova postupně prochází 3 fázemi. Nejprve se základové konstrukce protahují základovou půdou – největší konvexní křivost terénu. Poté objekt přechází do inflexního bodu a nastává maximální naklonění budovy. Závěrečná fáze je charakterizována zatížením maximálním stlačením podloží a také největší konkávní křivostí terénu.



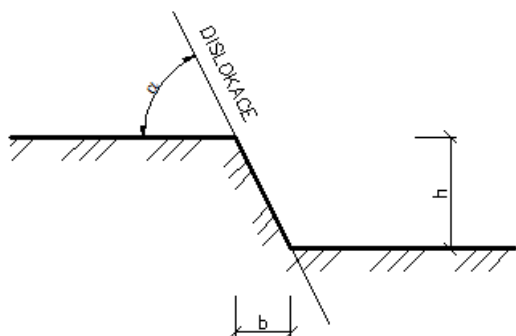
Obr. 2-1: Průběh spojitých přetvoření terénu

Při předpokládání spojitého přetvoření terénu obsahují báňské podmínky podle odstavce 2.2.3 normy [1] tyto veličiny: maximální naklonění i_{max} [rad], minimální poloměr zakřivení R_{min} [km], maximální vodorovné poměrné přetvoření ϵ_{max} [-], maximální pokles s_{max} [m], popřípadě i vodorovný posuv v [mm].

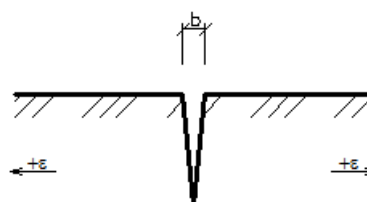
U stavenišť, kde se předpokládá výskyt nespojitého přetváření terénu je kromě spojitého přetváření terénu možnost vzniku terénního stupně (kolmý, šikmý), propadliny (nálevková, příkopová), trhliny, terénní vlny nebo propadu. Kolmý terénní stupeň je charakterizován výškou h [mm], šikmý terénní stupeň výškou h [mm] a šířkou b [mm] nebo

úhlem. Nálevková propadlina je charakterizována průměrem r [m] a hloubkou h [m], příkopová propadlina šířkou b [m] a hloubkou h [m]. Trhliny jsou charakterizované šířkou b [mm], terénní vlny výškou h [mm] a šířkou b [mm]. V případě propadů se nesmí staveniště vůbec použít.

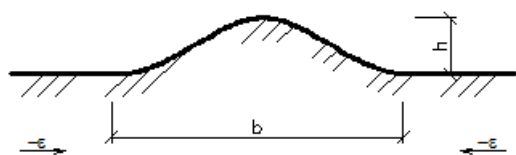
TERÉNNÍ STUPEŇ



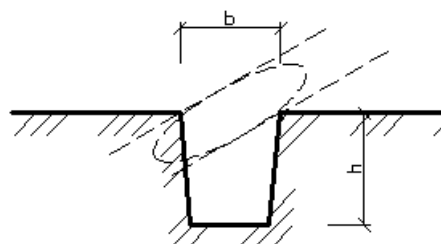
TRHLINA



TERÉNNÍ VLNA



NÁLEVKOVÁ NEBO
PŘÍKOPOVÁ PROPADLINA



Obr. 2-2: Nespojité přetvoření terénu

2.2 Staveniště na poddolovaném území

Staveniště se zařazují podle odstavce 2.4.1 normy [1] do kategorií podle těchto kritérií:

1. Intenzity a druhu přetvoření podle báňských podmínek
2. Hydrogeologických podmínek a základových poměrů
3. Druhu a významu objektu

Pokud stavíme na poddolovaném území, měli bychom využívat staveniště tam, kde buď povrchové projevy poddolování již dozněly anebo první projevy poddolování budou až po vyčerpání doby životnosti objektu.

Tabulka 2-1, obsažena v normě [1], zatřizuje staveniště podle vhodnosti. Nejvhodnější je kategorie V, nejhorší staveniště je v kategorii I. Objekty, vyskytující se na staveništích v kategorii V nepotřebují zvláštní zajištění na účinek poddolování až na několik výjimek

(podzemní objekty širší než 6 m, tlaková trubní vedení, nádrže apod.). Musíme si však dát pozor na hladinu podzemní vody, která může nastat poklesem terénu.

Objekty, vyskytující se na staveništích v kategorii III a IV se obvykle zajistí ekonomicky přijatelným způsobem, pokud se postupuje podle konstrukčních zásad.

V kategorii stavenišť I a II jsou objekty jen v nejnútnejších případech a to jen z důvodu dopravy (železniční stanice) nebo pro provoz těžební organizace. Pokud na staveništi hrozí propad, nelze staveniště vůbec použít a je nutno hledat jinde.

Skupina stavenišť	Parametr přetvoření terénu		
	Vodorovné poměrné přetvoření ε [-]	Poloměr zakřivení R [km]	Naklonění i [rad]
I	$\varepsilon > 7 \cdot 10^{-3}$	$R < 3$	$i > 10 \cdot 10^{-3}$
II	$7 \cdot 10^{-3} \geq \varepsilon > 5 \cdot 10^{-3}$	$3 \leq R < 7$	$10 \cdot 10^{-3} \geq i > 8 \cdot 10^{-3}$
III	$5 \cdot 10^{-3} \geq \varepsilon > 3 \cdot 10^{-3}$	$7 \leq R < 12$	$8 \cdot 10^{-3} \geq i > 5 \cdot 10^{-3}$
IV	$3 \cdot 10^{-3} \geq \varepsilon > 1 \cdot 10^{-3}$	$12 \leq R < 20$	$5 \cdot 10^{-3} \geq i > 2 \cdot 10^{-3}$
V	$\varepsilon < 1 \cdot 10^{-3}$	$R > 20$	$i < 2 \cdot 10^{-3}$
Do skupiny I patří staveniště s možným výskytem nespojitých přetvoření terénu. Do skupiny II patří terénní stupně a vlny o výšce $h < 100$ mm a trhliny o šířce $b < 100$ mm. O zařazení staveniště rozhoduje nejméně příznivá hodnota parametru přetvoření terénu.			

Tab. 2-1: Skupiny stavenišť na poddolovaném území

Dále můžeme staveniště na poddolovaném území rozdělit takto [9]:

1. Nevhodná
2. S nepříznivými vlastnostmi
3. S nepříznivými podmínkami při vysoké HPV
4. S nepříznivými podmínkami za přítomnosti vodotečí a vodních nádrží

Nevhodná staveniště jsou taková, kde hrozí jejich zátapa, sesuvy nebo kde mohou nastat tektonické poruchy.

Staveniště s nepříznivými vlastnostmi jsou většinou taková, kde je základová půda tvořena ze skalnatých hornin, jsou zde kamenité nebo balvanité zeminy anebo je základová půda tvořena tvrdějmnými zeminami. Z těchto důvodů vzniká nerovnoměrné podepření objektu na malých plochách. Tyto nepříznivé vlastnosti obvykle eliminujeme tak, že navrhujeme nahrazení základové půdy poddajnějším násypem.

Staveniště s vysokou HPV má za následky, že dochází k znehodnocení základových poměrů změnou vlastností základových poměrů, vzniká hydrostatický tlak a agresivní účinky působící na základové konstrukce a je tak ohrožena stabilita svahů a opěrných stěn.

U staveniště s nepříznivými podmínkami za přítomnosti vodotečí a vodních nádrží musíme posoudit vliv poslesu terénu k volné hladině.

Objekt, který se v této práci navrhuje má tyto parametry:

Kategorie staveniště	Maximální vodorovné poměrné přetvoření ε_{max} [-]	Minimální poloměr zakřivení R_{min} [km]	Maximální naklonění i_{max} [rad]
IV	$\varepsilon_{max} = 2,9 \cdot 10^{-3}$	$R_{min} = 21$	$i_{max} = 3,5 \cdot 10^{-3}$

Tab. 2-2: Hodnoty parametrů spojitého přetvoření terénu

Z báňských veličin jsme určili, že se objekt nachází v kategorii staveniště IV, takže objekt se zajistí ekonomicky přijatelným způsobem s dodržением konstrukčních zásad.

2.3 Zajištění objektu proti účinkům poddolování

Zajištění objektu jsou opatření, které zajišťují spolehlivost při působení účinků hlubinné těžby. Zajištění se nemusí provádět v případě, že účinky poddolování se projeví až po dosažení životnosti objektu nebo účinky poddolování již dozněly. Rozsah a způsob zajištění objektu závisí podle odstavce 2.1.3 normy [1] na:

1. Druhu (spojité nebo nespojitě přetvoření terénu) a velikosti přetvoření terénu
2. Době vystavení účinkům poddolování
3. Významu objektu, životnosti objektu
4. Konstruktivnímu řešení objektu
5. Technologickému zařízení v objektu

Zajištění objektu se provádí buď předem (při realizaci objektu), dodatečně (před projevem poddolování na povrchu) anebo po etapách (zčásti předem, zčásti během užívání stavby). Předem by se měly provést jen taková zajištění objektu, která by byla technicky neproveditelná nebo nevhodná u dodatečného zajištění (rozdělovací spáry, ztužení základů nebo úpravy pro rektifikaci). Dodatečné zajištění objektu nebo zajištění objektu po etapách je výhodné z důvodu, že se během životnosti objektu mohou měnit báňské podmínky.

Pokud se navrhuje dodatečné zajištění objektu nebo zajištění objektu po etapách, provádí se statický výpočet pro každou etapu zvlášť.

2.4 Zásady navrhování objektů na poddolovaném území

Všechny konstrukce musí splňovat podmínky jak Mezních stavů únosnosti, tak i Mezních stavů použitelnosti [3]. Výpočet běžných zatížení (stálé, nahodilé, sníh, vítr) probíhá jako u konstrukcí na nepoddolovaném území a řídí se normami pro zatížení [4] [5] [6].

Pokud se konstrukční systém objektu deformuje účinky poddolování, deformuje se i konstrukce a tím vzniká zatížení od přetvoření nosné konstrukce. Spojité přetvoření terénu jsou dlouhodobá nahodilá zatížení, nespojitá přetvoření terénu jsou mimořádná nahodilá zatížení, jak je uvedeno v odstavci 3.1.5 normy [1].

2.4.1 Korekční součinitele

Korekční součinitele μ se vztahují k půdorysným rozměrům dilatačního pole objektu. Pokud není v báňských podmínkách zadán poloměr účinné plochy r , určují se korekční součinitele μ podle tabulky 2-3, uvedené v normě [1]. Je-li poloměr účinné plochy r zadán, použije se těchto vzorců podle odstavce 3.1.8 normy [1]:

1. Pro naklonění i a vodorovný posuv v

$$\mu_i = \mu_v = 1 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{L}{2 \cdot r} \right)^2 \quad (2.1)$$

2. Pro vodorovné poměrné přetvoření ε a křivost terénu $\rho = 1/R$

$$\mu_\varepsilon = \mu_\rho = 1 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{L}{r} \right)^2 \quad (2.2)$$

L ... největší rozměr dilatačního úseku objektu v posuzovaném směru

r ... poloměr plné účinné plochy

$$\mu_{i,v,\varepsilon,\rho} \geq 2/3$$

Hodnoty maximálního naklonění i_{max} [rad], minimálního poloměru zakřivení R_{min} [km] a maximálního vodorovného poměrného přetvoření ε_{max} [-] se dále mohou snížit korekčními

součiniteli podle tabulky 2-3, které jsou závislé na délce dilatačního úseku L . Čím je delší dilatační úsek, tím jsou účinky poddolování menší.

Druh deformace	Korekční součinitel	Hodnoty korekčních součinitelů		
		Při délce dilatačního úseku L [m] ve směru přetvoření terénu		
		< 15	15 až 30	> 30
Naklonění i	μ_i	1,0	0,9	0,8
Křivost $\rho = 1/R$	μ_ρ	1,0	0,85	0,7
Vodorovné poměrné přetvoření ε	μ_ε	1,0	0,85	0,7
U objektu kruhového půdorysu se za délku L považuje průměr základu. Pro věžové objekty při $L < 15$ m se uvažuje $\mu_i = 1,5$.				

Tab. 2-3: Korekční součinitele

2.4.2 Svislý pokles

Rovnoměrný svislý pokles způsobí pouze přemístění objektu nebo jeho části. Nerovnoměrný pokles je zdrojem vynucených napětí a přetvoření konstrukce. U poklesů se posuzují hydrogeologické poměry staveniště.

Nerovnoměrný pokles podzákladí objektu vznikne buď účinkem zakřivení terénu nebo účinkem naklonění terénu.

1. Pokles účinkem zakřivení terénu o poloměru R

U nerovnoměrných poklesů vlivem zakřivení terénu a změny úhlu naklonění vznikají vynucené silové a přetvárné účinky zatížení. Ty závisí na tuhosti základových a nadzákladových konstrukcí a na konstrukčním uspořádání objektu a na poddajnosti položí.

- Výpočet poklesu účinkem zakřivení terénu vzhledem k středové ose objektu:

$$\Delta y_\rho = \mu_\rho \cdot \frac{x^2}{2 \cdot R} \quad (2.3)$$

- Změna úhlu naklonění podzákladí vzhledem k středové ose objektu:

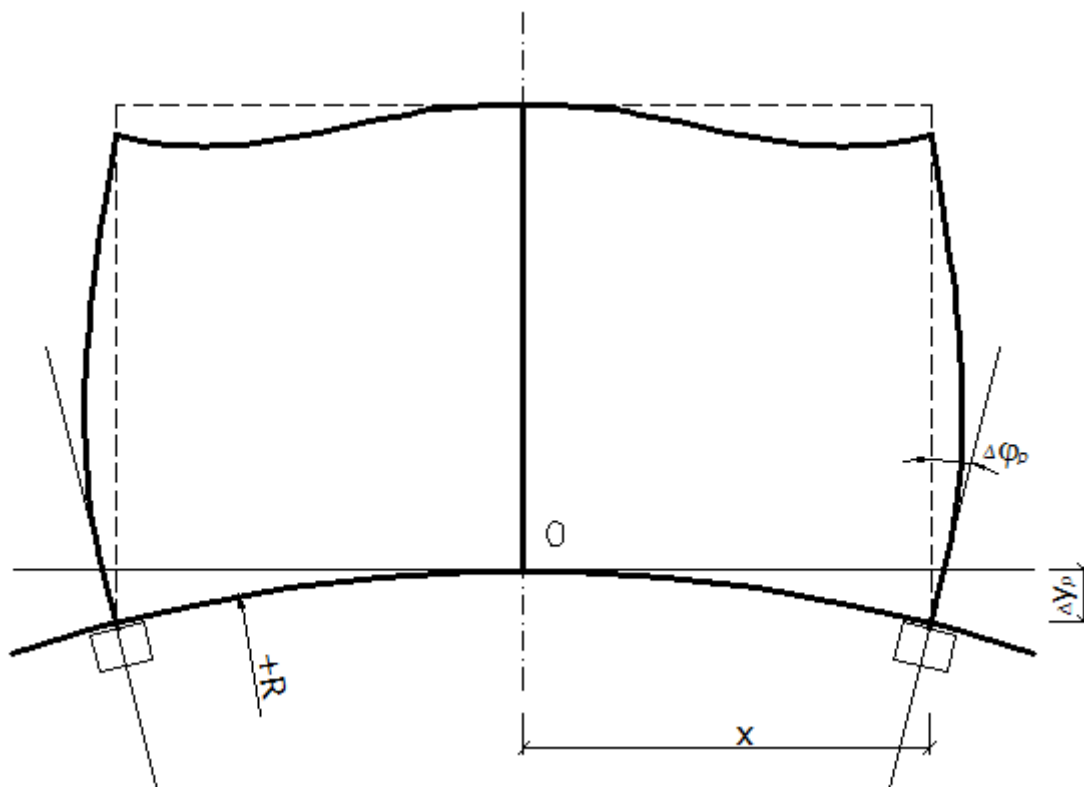
$$\Delta \varphi_\rho = \mu_\rho \cdot \frac{x}{R} \quad (2.4)$$

- Výpočet poklesu účinkem zakřivení terénu s půdorysnými souřadnicemi x_1 a x_2 :

$$\Delta y_\rho = \mu_\rho \cdot \frac{x_2^2 - x_1^2}{2 \cdot R} \quad (2.5)$$

- Úhel vzájemného pootočení:

$$\Delta \varphi_\rho = \mu_\rho \cdot \frac{x_2 - x_1}{R} \quad (2.6)$$



Obr. 2-3: Nerovnoměrný pokles a změna úhlu naklonění podzákladí zakřivením terénu

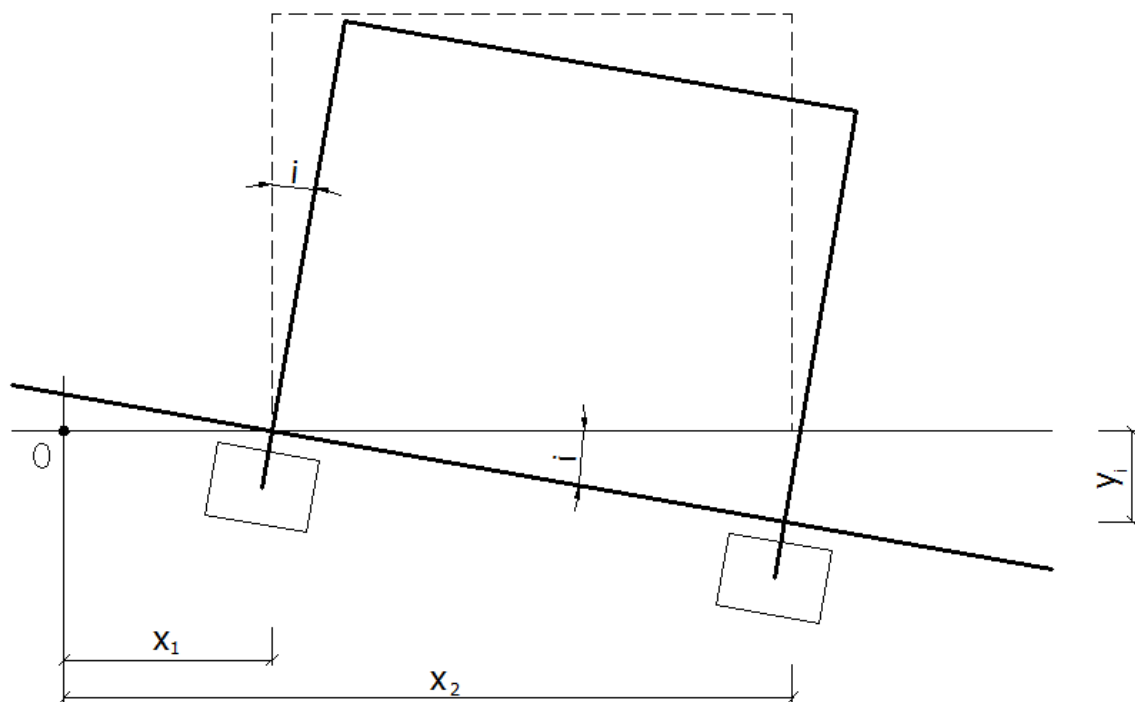
2. Pokles účinkem naklonění terénu i

U nerovnoměrných poklesů vlivem naklonění terénu nastává nejen svislá složka zatížení V , ale i vodorovná složka zatížení H . Účinek vodorovné složky H lze podle odstavce 3.1.22 normy [1] v některých případech zanedbat u skupiny staveníšť III, IV a V.

- Výpočet poklesu účinkem naklonění terénu s půdorysnými souřadnicemi x_1 a x_2 :

$$\Delta y_i = \mu_i \cdot i \cdot (x_2 - x_1) \quad (2.7)$$

$$H_k = \mu_i \cdot i \cdot V_k \quad (2.8)$$



Obr. 2-4: Nerovnoměrný pokles podzákladí nakloněním terénu

2.4.3 Vodorovný posuv

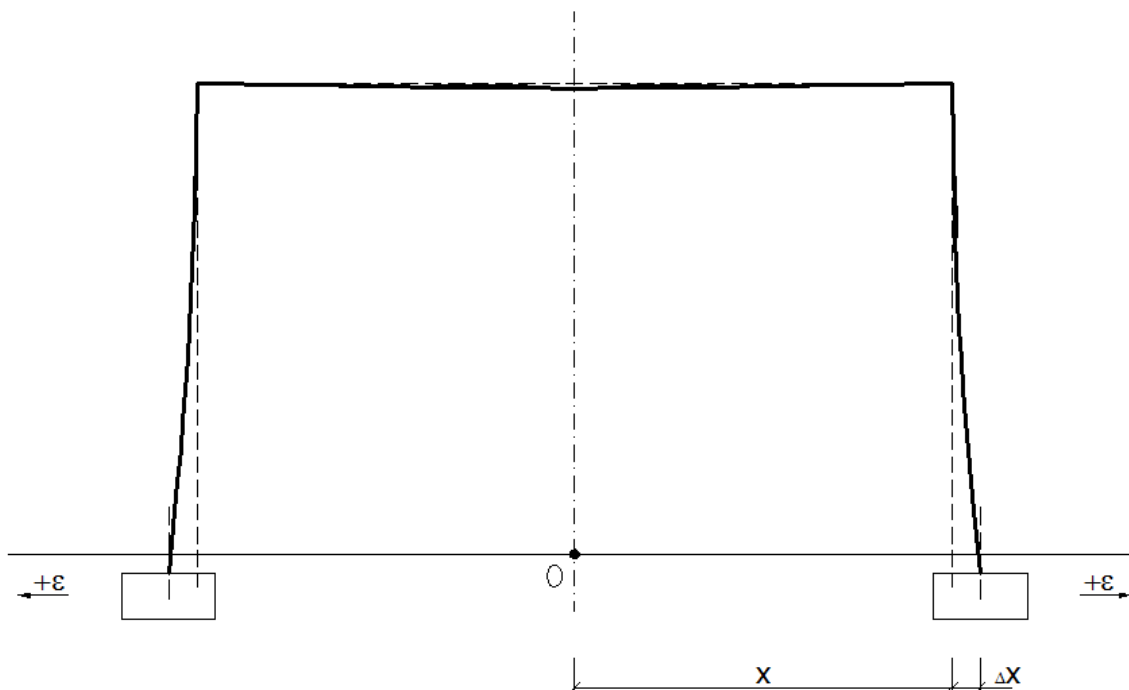
Vodorovný posuv podzákladí objektu vzniká účinkem vodorovného poměrného přetvoření terénu ε . Rovnoměrný vodorovný posuv způsobí pouze přemístění objektu nebo jeho části. Nerovnoměrný vodorovný posuv je zdrojem vynucených napětí a přetvoření konstrukce. Pokud jsou základy vodorovně nevyztužené, může v nich nastat excentrické působení nadzákladových konstrukcí.

- Výpočet vodorovného posuvu vodorovným poměrným přetvořením vzhledem k středové ose objektu – neutrálná osa smykových sil, kterou vyvolá vodorovné poměrné přetvoření terénu ε :

$$\Delta x = \mu_{\varepsilon} \cdot \varepsilon \cdot x \quad (2.9)$$

- Výpočet vodorovného posuvu vodorovným poměrným přetvořením s půdorysnými souřadnicemi x_1 a x_2 :

$$\Delta x = \mu_{\varepsilon} \cdot \varepsilon \cdot (x_2 - x_1) \quad (2.10)$$



Obr. 2-5: Vodorovný posuv podzákladí vodorovným poměrným přetvořením terénu

U vodorovných poměrných přetvoření terénu vzniká v základové půdě protažení nebo stlačení. Pokud je konstrukční systém poddajný, pak vzniká odpor v ložiskách nebo v kluzných sparách a může nastat změna působiště zatížení, vznikající posuvem. Pokud je ale konstrukce horizontálně tuhá, vzniká na styku se základovou půdou podle odstavce 3.1.24 normy [1]:

- tření v základové spáře všech propojených základů

$$\tau_{uv} = \sigma_v \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \quad (2.11)$$

- tření na bočním povrchu základů, které je rovnoběžné se směrem vodorovného poměrného přetvoření

$$\tau_{uh} = \sigma_h \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \quad (2.12)$$

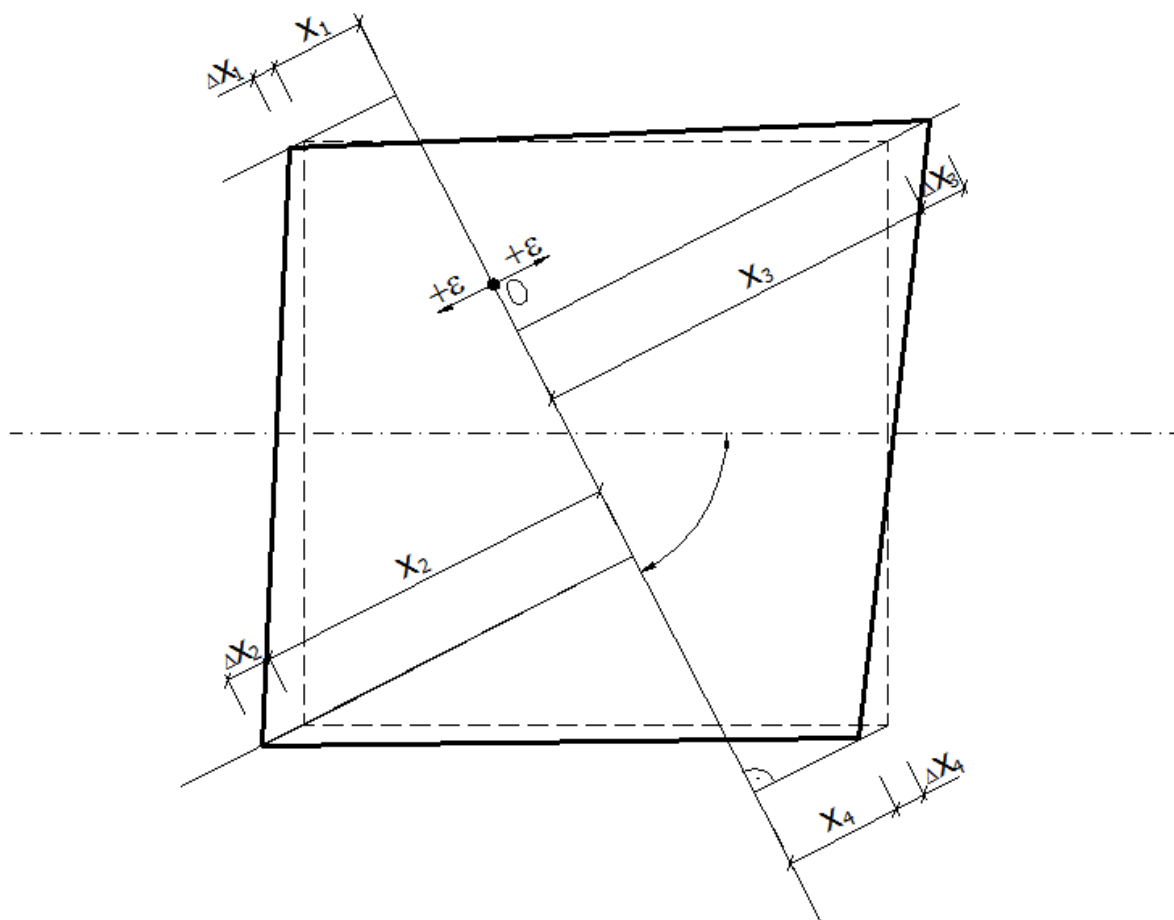
- tlak základové půdy nebo zásypu na povrch konstrukcí, orientovaných buď kolmo nebo šikmo ke směru vodorovného poměrného přetvoření terénu

$$\tau_{u,ep} = \sigma_{vs} \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) + 2 \cdot c \cdot \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (2.13)$$

2.4.4 Další zásady

Pokud se v báňských podmínkách nevyskytuje smysl parametrů přetvoření terénu i , R a ε , pak by se měly posoudit obě maximální hodnoty přetvoření terénu – maximální kladné i záporné hodnoty.

Mají-li objekty prostorovou konstrukční soustavu, je nutné posoudit i obecný směr působení přetvoření terénu a to z důvodu kroucení prostorové soustavy a půdorysné zkosení objektu.



Obr. 2-6: Půdorysné zkosení objektu při obecném směru vodorovným poměrným přetvořením terénu

Konstrukce se vždy posuzují na nejnepříznivější kombinace zatížení včetně účinku poddolování. Jak je uvedeno v odstavci 3.1.15 normy [1], tak u spojitého přetvoření terénu může současně nastat:

- kladné zakřivení terénu $+R$, kladné poměrné přetvoření $+\varepsilon$ a naklonění i
- záporné zakřivení terénu $-R$, záporné poměrné přetvoření $-\varepsilon$ a naklonění i

U nespojitého přetožení terénu se uvažuje současný výskyt spojitého a nespojitého přetvoření terénu a postupuje se podle normy [1].

Zatížení od poddolovaného území při předpokládání spojitého přetvoření terénu se předpokládá podle odstavce 3.1.16 normy [1]:

1. Jednoslojové a dvouslojové ložiska

$$\frac{1}{R_{max}} + \varepsilon_{max} + 0,5 \cdot i_{max} \quad (2.14)$$

$$i_{max} + 0,2 \cdot \frac{1}{R_{max}} + 0,2 \cdot \varepsilon_{max} \quad (2.15)$$

2. Víceslojové ložiska

$$\varepsilon_{max} + 0,9 \cdot \frac{1}{R_{max}} + 0,6 \cdot i_{max} \quad (2.16)$$

$$\frac{1}{R_{max}} + 0,9 \cdot \varepsilon_{max} + 0,6 \cdot i_{max} \quad (2.17)$$

$$i_{max} + 0,6 \cdot \frac{1}{R_{max}} + 0,6 \cdot \varepsilon_{max} \quad (2.18)$$

U víceslojových ložisek je také třeba uvážit, zda-li objekt během své životnosti neprojde několikrát průchodem poklesovou kotlinou.

Při výpočtu s účinky poddolování se používá interakční soustava mezi základem, nadzákladovou nosnou konstrukcí a podloží. Uvažuje se vzájemné spolupůsobení s podloží a ovlivňování konstrukce od přetvoření terénu. Dále se mohou do výpočtu vnést nelinearity (geometrická, fyzikální) nebo reologické vlastnosti materiálu.

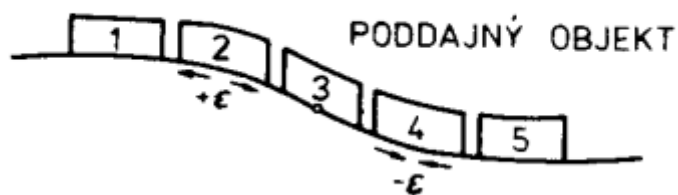
2.5 Požadavky na konstrukce

Konstrukce navrhované na poddolovaném území by měly být vyšší, ale zároveň by měly být menšího půdorysu, popřípadě by měly být rozděleny do menších dilatačních celků s co nejjednodušším půdorysem (pravoúhlý nebo kruhový). Založení objektu by mělo být ve stejné výšce.

2.5.1 Konstrukční systémy

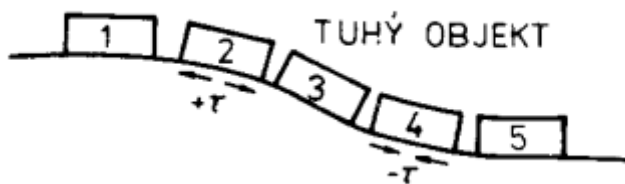
1. Poddajný
2. Tuhý
3. Smíšený

Poddajný konstrukční systém kopíruje přetvoření terénu a nevnáší nebo jen minimálně vnáší silové účinky zatížení do konstrukce objektu. Používá se tam, kde můžeme odstranit účinky přetvoření terénu (rektifikací) nebo tam, kde to významně neovlivní strojně-technologické zařízení a funkce v objektu.



Obr. 2-7: Schéma přetváření poddajného objektu

Tuhý konstrukční systém je takový, kde jsou nosné prvky propojeny do prostorově tuhého celku. Odolává tak zatížení od přetvoření terénu a v tomto případě musí být nosné prvky posouzeny na zatížení od poddolování. Typickým příkladem tuhého konstrukčního systému jsou panelové a zděné objekty nebo blokové základy.



Obr. 2-8: Schéma přetváření tuhého objektu

Smíšený konstrukční systém je něco mezi tuhým a poddajným konstrukčním systémem. Příklad smíšeného konstrukčního systému je rámová konstrukce bez základových táhel, případně rozpěr. Je to nejběžnější systém z důvodu kombinace tuhého a poddajného konstrukčního systému (tuhý základ a poddajná nadzákladová konstrukce, konstrukce tuhá v příčném směru a v podélném směru poddajná).

2.5.2 Základové konstrukce

Základová spára se navrhuje v jedné hloubce a zároveň by měla být v co nejmenší hloubce pod terénem. Pokud to nelze splnit, oddělují se konstrukce, které jsou založeny ve větší hloubce průběžnou kluznou spárou. Účinky poddolování se dále snižují podle odstavce 3.2.6 normy [1]:

1. Zmenšením ploch základů v dotyku se základovou půdou
2. Zásyp stavební jámy, základové polštáře s nízkou pevností
3. Nejnížší podlaží pod celým půdorysem objektu (dilatačního celku)
4. Zemními kompenzačními rýhami se stlačitelným materiálem po obvodu objektu

Omezení vodorovných poměrných přetvoření terénu na nadzákladové konstrukce se provádí návrhem horizontálně tuhých základových konstrukcí. Rozdělení podle odstavce 3.2.7 normy [1]:

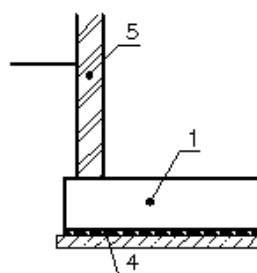
1. Základové desky
2. Základové pásy s táhly (rozpěrami) nebo základové rošty
3. Základové patky s táhly (rozpěrami) v jednom nebo v obou směrech
4. Základy se ztužující deskou tloušťky minimálně 100 mm

U nespojitých přetvoření terénu, zvláště u terénních stupňů a propadlin lze konstrukci zajistit jen tuhými základovými konstrukcemi (tuhé základové desky, rošty) nebo tuhou nadzákladovou konstrukcí.

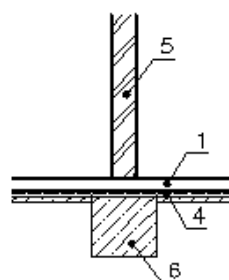
Základové konstrukce na poddolovaném území mají být z železobetonu nebo z předpjatého betonu. Táhla se umísťují buď v jedné výškové úrovni (základová spára) nebo i do dvou výškových úrovní. Tření základových konstrukcí se omezuje kluznými spárami.

U základových konstrukcí, zakládaných na velmi málo stlačitelných půdách se zřizuje polštář z hlíny nebo štěrku o výšce minimálně 300 mm.

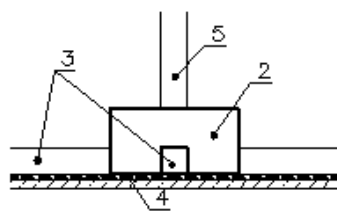
S ŽELEZOBETONOVOU DESKOU



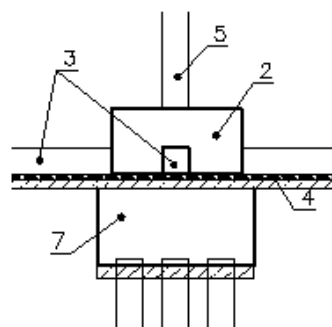
SE ZTUŽUJÍCÍ ŽELEZOBETONOVOU DESKOU NAD ZÁKLADOVÝM PÁSEM



S PATKAMI A PŘÍČNÝMI
A PODÉLNÝMI TÁHLÝ (ROZPĚRAMI)



S PATKAMI A PŘÍČNÝMI
A PODÉLNÝMI TÁHLÝ (ROZPĚRAMI)



- 1-ZTUŽUJÍCÍ DESKA
- 2-ZÁKLADOVÉ PATKY
- 3-PŘÍČNÁ A PODÉLNÁ TÁHLA (ROZPĚRY)
- 4-KLUZNÁ SPÁRA
- 5-NADZÁKLADOVÁ NOSNÁ KONSTRUKCE
- 6-NECHRÁNĚNÝ ZÁKLAD POD KLUZNOU SPÁROU
- 7-PILOTOVÝ ZÁKLAD

Obr. 2-9: Kluzné spáry v základových konstrukcích

2.5.3 Dilatační spáry

Požadavky na dilatační spáry podle odstavce 3.2.7 normy [1]:

- rovinné
- nelomené
- nevyplněné
- přes celý objekt až do střešní krytiny
- krytí spáry nesmí bránit pohybu dilatačních celků

Šířka dilatační spáry se určuje podle vztahů:

$$w_d \geq \mu_e \cdot |\varepsilon| \cdot L_{dil} \geq 50 \text{ mm} \quad (2.19)$$

$$w_h \geq w_d + \Delta\vartheta \cdot h_{dil} \geq 50 \text{ mm} \quad (2.20)$$

Na území se spojitým převořením terénu:

$$\Delta\vartheta = \mu_p \cdot \frac{L_{dil}}{|R|} \quad (2.21)$$

Na území s terénními stupni a vlnami:

$$\Delta\vartheta = \frac{h}{L} \quad (2.22)$$

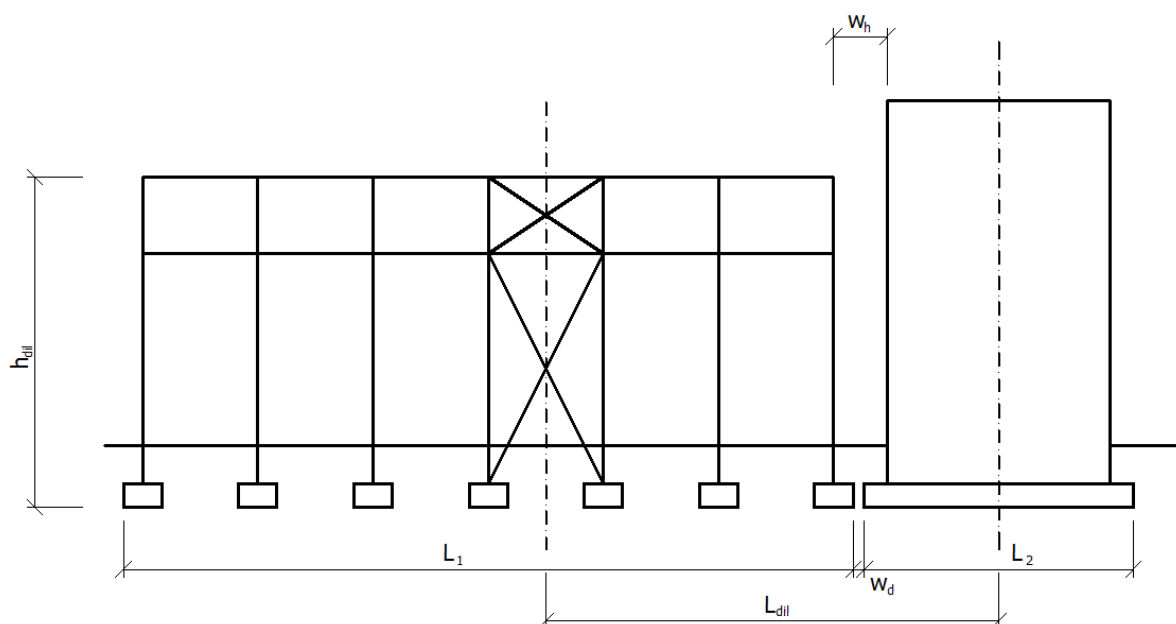
$\Delta\vartheta$... úhel vzájemného pootočení sousedních dilatačních celků vlivem poddolování

L_{dil} ... osová vzdálenost středů dilatačních celků

L ... délka nižšího z dilatačních celků

h_{dil} ... celková výška nižšího z dilatačních celků od základové spáry

Pokud je jen kladné zakřivení terénu, pak $w_d = w_h$. Pokud je jen protažení terénu, pak je šířka dilatační spáry stejná jako na nepoddolovaném území.



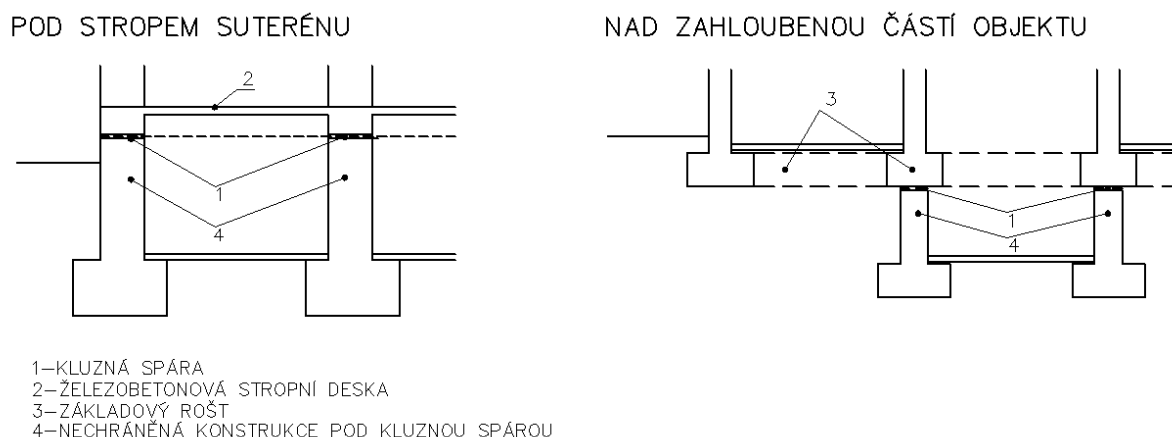
Obr. 2-10: Dilatační spáry

2.5.4 Kluzné spáry

Používají se ke snížení účinku vodorovných poměrných deformací. Požadavek na kluznou spáru je rovinnost (maximální nerovnost je 5mm/m). Dimenzují se na účinky tření v kluzné spáře. Podle odstavce 3.2.15 normy [1] se navrhují:

- v základových konstrukcích
- pod stropem suterénu
- nad zahloubenou částí objektu

Pod úrovní kluzné spáry vznikají vodorovnými poměrnými přetvořeními terénu důlní škody. Pod úrovní kluzné spáry je možno navrhnout základové konstrukce z prostého betonu. Nutné je také zkontrolovat, zda-li se nezměnilo působíště zatížení posunem. V tabulce 2-4 nalezneme hodnoty z normy [1] pro jednotlivé typy kluzných spár.



Obr. 2-11: Kluzné spáry v nezákladových konstrukcích

Provedení smykové spáry	Součinitel tření
Beton nebo zdivo na betonu	0,70
Beton nebo zdivo na betonu s asfaltovým pásem	0,55
Ocel na betonu	0,50
Ocel na oceli	0,49
2 vrstvy lepenky proložené vrstvou inertního prachu v množství 1 kg/m^2	0,40
2 vrstvy lepenky proložené vrstvou inertního prachu v množství 1 kg/m^2 s vrstvou štípané slídy v množství 1 kg/m^2	0,30
2 vrstvy lepenky proložené vrstvou inertního prachu v množství 1 kg/m^2 s mletého grafitu v množství $0,5 \text{ kg/m}^2$	0,20
2 vrstvy polyethylénové fólie proložené vrstvou mletého grafitu v množství $0,4 \text{ kg/m}^2$	0,15
Uvedené hodnoty platí pro fyzikální tření při prokluzu. Jiné hodnoty musí být doloženy výsledky zkoušek.	

Tab. 2-4: Součinitel tření v kluzné spáře

2.5.5 Další zásady

Na poddolovaném území se nesmí používat konstrukce ohrožené změnou tvaru jako jsou zděné klenby nebo oblouky bez táhel. Překlady by se měly spojit s železobetonovým věncem.

Tuhé objekty (zděné, panelové) se podle odstavce 3.2.17 normy [1] zajišťují vodorovným ztužením po celém půdorysu dilatačního celku železobetonovým věncem minimální výšky 80 mm:

- v základech
- pod stropem suterénu
- v úrovni nejvyššího podlaží

U skupiny staveníšť I, II a III se provádí ztužení po 6 m výšky. Ztužení se dimenzuje jako vodorovný rám. Alternativně se může určit síla ve výztuži podle odstavce 3.2.17 normy [1] jako $N = 10 \cdot b$ [kN], kde b je šířka budovy v [m]. U monolitických deskových konstrukcí je možno tahovou sílu rozdělit v desce. Taktéž musíme dávat pozor na přetváření nosné konstrukce vzhledem k zaskleným plochám fasád a obkladům fasád.

Na poddolovaném území bychom měli navrhovat konstrukce symetrické. Ztužidlová pole konstrukcí by měly být uprostřed dilatačního pole. U ztužidlového pole bychom měli navrhnout také schodiště. Schodiště by měla být monolitická železobetonová nebo ocelová.

2.5.6 Zásady skeletových objektů

Skeletové objekty jsou buď z betonu (monolitického, z prefabrikátů), z oceli nebo kombinací materiálů. Konstrukční systém tuhý nebo smíšený. U konstrukčního systému tuhého navrhujeme základové konstrukce horizontálně tuhé, ty přenášejí účinky vodorovného poměrného přetvoření. Prostorová tuhost skeletového objektu je zajištěna podle odstavce 4.2.1 normy [1]:

- vetknutím sloupů do základů
- zmonolitněním stropních konstrukcí
- ztužujícími stěnami
- ztužujícími jádry

U kategorií staveníšť III., IV. a V. je s výhodou užíván poddajný konstrukční systém který je realizován poddajnými spoji rámových prvků nebo snížením tuhosti prvků. Pokud jsou na těchto staveníštích příznivé základové poměry a vyhoví nadzákladová konstrukce na účinky vodorovného poměrného přetvoření, můžeme objekt založit na patkách, popřípadě pásech, které nejsou vzájemně propojeny táhly, jak je uvedeno v odstavci 4.2.2 normy [1].

Účinky zakřivení terénnu a naklonění terénu přenáší nadzákladová konstrukce, účinky vodorovných poměrných přetvoření terénu přenáší nižší základové pásy nebo rošty, pokud jsou vzájemně propojeny táhly. Desky, vyšší pásy nebo rošty se za určitých okolností mohou podílet na přenášení účinků zakřivení terénu. Pokud nejsou základy vodorovně ztužené, účinky vodorovných přetvoření terénu se musí projevit maximálně do výšky spodních dvou pater.

Dilatační úseky závisí na intenzitě poddolování, základových poměrech a také na poddajnosti nosného systému. Dělicí spáry zhotovujeme zdvojením rámců. Dilatační spáry se mohou vyplnit pružným, tepelně izolačním materiálem. Překrytí dilatační spáry musí také vyhovět na požární odolnost.

Obvodový plášť je doporučeno navrhnout jako lehčené závěsové panely, které jsou poddajně připojeny k nosné konstrukci.

3 Seizmicita

Seizmicita (zemětřesení) je náhlý krátkodobý otřes zemského povrchu vyvolán přírodními faktory (exploze sopek, uvolnění napětí v zemském tělese, zřícení stropu podzemních prostor v zemském tělese) nebo technickou seizmicitou – kombinací přírodních a antropogenních faktorů (seizmicita vyvolaná dopravou, průmyslovými stroji, trhačími pracemi, důlní činností, čerpáním podzemních tekutin nebo změny zatížení povrchu) [14].

3.1 Zemětřesení obecně

Země je nehomogenní těleso, které je namáháno různými silami, například gravitací (svou i jiných nebeských těles), odstředivou silou, teplotami nebo i silami, vznikající lidskou činností. Všechny síly působí na povrchové vrstvy Země, na její kůru – vrchní část pláště, které se mohou rozlomit do ker. Kry se také mohou posouvat. Takto se uvolňuje nakupená deformační energie, což doprovází otřesy. Místo poruchy je označováno jako hypocentrum [14]. Místo na povrchu se nazývá epicentrum [14]. Zemětřesení se na povrchu projevuje otřesy. Otřesy mají obecně 6 složek, avšak se počítá se složkami translačními – 1 svislou a 2 vodorovnými [12]. Časový průběh otřesu je složitý a závislý na mnoha faktorech – vzdálenost od epicentra, charakter tektonické poruchy, mechanické vlastnosti prostřední, množství uvolněné energie apod. Na povrchu se po otřesu mohou nacházet i trvalé deformace terénu. Zemětřesení bývá zdrojem i vln tsunami.

Rozdělení zemětřesení podle hloubky [12]:

1. Zemětřesení mělká – do 10 km
2. Zemětřesení střední – kolem 25 km
3. Zemětřesení hlubinná – více než 60 km

Česká republika nemá pod svým územím významné tektonické zlomy, s možným výskytem se ale počítá zejména v Moravskoslezském kraji (Ostravsko, Frýdecko-Místecko, Karvinsko, Opavsko, Bruntálsko), Zlínském kraji (Vsetínsko) nebo Karlovarském kraji (Chebsko, Sokolovsko, Tachovsko). Na území České republiky se počítá nejčastěji s malou nebo velmi malou seizmicitou. Popis zemětřesení je pomocí veličiny magnitudo, což představuje množství uvolněné energie při otřesu a je určena například Richtеровou stupnicí.

3.2 Seismické oblasti ČR

V současné době se na zatížení seismicitou řeší podle Eurokódu 8 [8]. Podle této normy [8] se Česká republika dělí na 3 oblasti:

1. Se seismicitou větší než malou ($a_{gR} > 0,08g$) – 10 okresů (Ostrava, Cheb)
2. S malou seismicitou ($0,4 < a_{gR} < 0,08g$) – 30 okresů (Břeclav, Karlovy Vary)
3. Ostatní ($a_{gR} < 0,4$) – Praha, Brno, Olomouc



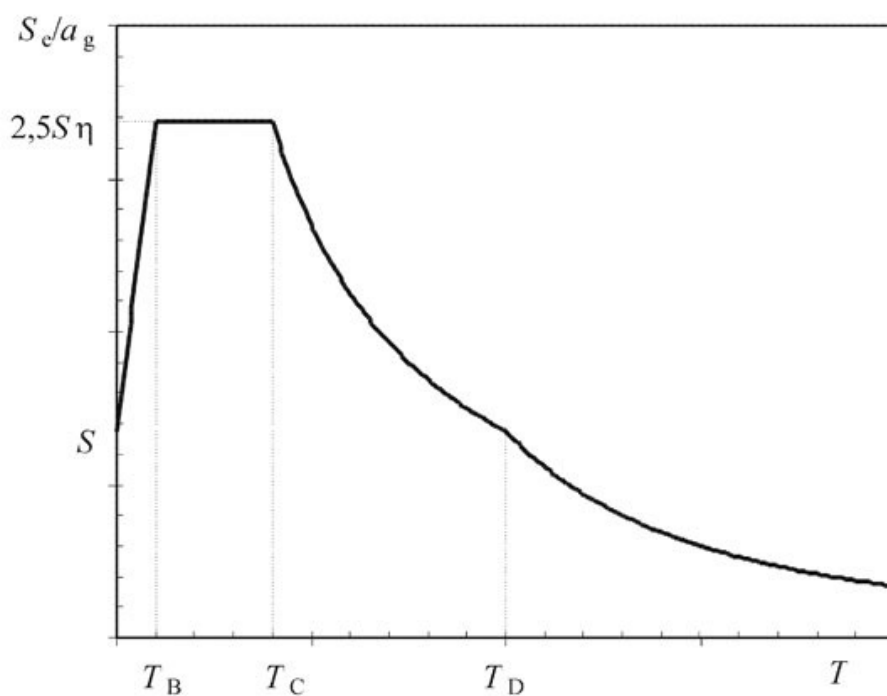
Obr. 3-1: Mapa seismických oblastí ČR [8]

3.3 Seismické zatížení a odezva konstrukce

Zatížení seismicitou je charakterizováno jako kinematické buzení (buzení vynuceným pohybem), které je z podloží přes základy vnášeno do konstrukce. Pro řešení musí být zadán pohyb základu jako funkce času. Pohyb a namáhání konstrukce lze určit metodami stavební dynamiky. Další možností je určení pohybu a zrychlení, které se vynásobí hmotou konstrukce a tím vznikne setrvačná síla, která je označovaná jako statická seismická síla. Seismické síly jsou svislé nebo vodorovné. Pokud je konstrukce rozlehlá a není buzena jako celek, je nutné, aby každá podpora byla buzena jiným pohybem, popřípadě je nutné zvolit vhodné

zjednodušení. Další komplikace otřesu je, že se jedná o náhodný proces, tudíž není popsán jen jednou funkcí. Takové řešení bychom museli provádět pravděpodobnostně a v seizmickém inženýrství se nepoužívá. Podle normy počítáme konstrukce metodou příčných sil nebo modální analýzou [12].

Pro běžné stavby se používá výpočet seizmických příčných sil s účinkem pohybu. Používá se vodorovné buzení, svislé bývá menší a navíc je konstrukce ve svislém směru odolnější. Důležité je mít spolehlivé založení a jednoduchý konstrukční systém. Při výpočtu pomocí seizmických příčných sil je nutné znát aspoň přibližně periodu kmitání ve vlastním tvaru T_1 . Musíme také znát křivku návrhového spektra pružné odezvy pro typ zemětřesení, který očekáváme $S_d(TI)$.



Obr. 3-2: Tvar spektra pružné odezvy [12]

Smyková síla celé budovy v základu F_b se vypočte podle odstavce 4.3.3.2.2 normy [8] takto:

$$F_b = S_d \cdot T_1 \cdot m \quad (3.1)$$

S_d ... křivka návrhového spektra pružné odezvy

T_1 ... perioda kmitání

m ... hmotnost celé budovy

Je-li budova tvořena několika hmotami a konstrukce je tuhá, pak se smyková síla F_b vypočte podle odstavce 4.3.3.2.3 normy [8] takto:

$$F_i = F_b \cdot \frac{z_i \cdot m_i}{\sum_j z_j \cdot m_j} \quad (3.2)$$

z_i ... výška hmoty m_i nad úrovní, kde se vnáší seizmické zatížení

z_j ... výška hmoty m_j nad úrovní, kde se vnáší seizmické zatížení

F_i ... vodorovná síla působící v i-tém podlaží

F_b ... seizmická smyková síla v základu

Perioda kmitání se vypočte podle odstavce 4.3.3.2.2 normy [8] takto:

- Metodou stavební dynamiky, např. Rayleighovou metodou
- Pro budovy do 40 m výšky:

$$T_1 = C_t \cdot H^{3/4} \quad (3.3)$$

$C_t = 0,075$ pro prostorové betonové rámy

H ... výška objektu od základové spáry [m]

- Další možnosti uvedeny v normě [8]

Pro periodu kmitání platí podle odstavce 4.3.3.2.1 normy [8] omezení:

$$T_1 \leq \left(\frac{4 \cdot T_c}{2,0 \cdot S} \right) \quad (3.4)$$

Pro štíhlé a vysoké konstrukce se používá modální analýza. Konstrukce mohou kmitat i ve vyšším tvaru. Pro každý vlastní tvar se řeší samostatně. Modální analýza se provádí za použití softwaru.

3.4 Konstrukční zásady

Při návrhu konstrukce v seizmické oblasti bychom měli navrhovat konstrukce podle pravidel, obsažených v kapitole 4.2.1 v normě [8]:

- jednoduché – kvůli modelování, analýze, dimenzování, konstrukčního uspořádání. Jednodušší konstrukce jsou jasnější, jejich chování je spolehlivější vzhledem k návrhu.
- jednotné, symetrické, staticky neurčité – rozdělení prvku v konstrukci by mělo být co nejvyváženější. Jednotné by měly být konstrukce jak ve vodorovném, tak ve svislém směru. Pokud je to nezbytné, konstrukce se může dělit pomocí seizmických spar na dynamicky nezávislé díly.
- odolné a tuhé v obou směrech – z důvodu, že seizmicita se projevuje horizontálně 2 složkami sil a tedy konstrukce musí vyhovět oběma těmto složkám. Je proto výhodné, aby konstrukce měla pravoúhlý systém.
- odolné a tuhé v krutu – aby bylo zabráněno torzním pohybům konstrukce a aby nevznikaly v konstrukci nerovnoměrné napětí. Hlavní prvky se proto umísťují k obvodu stavby.
- podlaží by měla působit jako diafragma – stropní konstrukce přenášejí setrvačné síly do svislé konstrukce a proto musí být správně spojeny se svislou nosnou konstrukcí.
- s přiměřenými základy – objekt musí být rovnoměrně buzen, proto je vhodné, aby konstrukce základu byla tuhá krabicová, anebo pokud je základ tvořen patkami, aby byly navzájem spojeny nosníky (táhly) nebo základovou deskou.

4 Model konstrukce, výpočet zatížení, zatěžovací stavy

Modely jednotlivých konstrukcí jsou zvoleny jako rovinné a to z důvodu jednoduššího modelu, výpočetního času a snadnější kontroly.

Výpočet zatížení se řídí podle norem [1] [4] [5] [6]. Zatížení se dělí podle proměnlivosti v čase na:

1. Stálé zatížení (vlastní tíha, pevné vybavení apod.)
2. Proměnné zatížení (užitné zatížení, zatížení sněhem, větrem, teplotou, poddolováním)
3. Mimořádné zatížení (zatížení výbuchem, požárem, seismicitou)

Zatížení se vypočte jako charakteristická hodnota zatížení a na návrhovou hodnotu se vynásobí součinitelem γ_f . U proměnného zatížení se navíc zavádí kombinační součinitele zatížení ψ_0 , kterými se přenásobí jednotlivé zatěžovací stavy v kombinaci. Při zadávání zatížení do softwaru Scia Engineer 2012.0 se zadávají charakteristické hodnoty zatížení a software vytváří kombinace jednotlivých zatěžovacích stavů a to jako EN-MSÚ Sada B.

4.1 Stropní deska

Tloušťka spojitě desky se vypočte podle [13]:

$$h_d = \left(\frac{1}{30} \sim \frac{1}{33} \right) \cdot l = \left(\frac{1}{30} \sim \frac{1}{33} \right) \cdot 2500 = 83,33 \text{ mm} \sim 75,75 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{h_d = 90 \text{ mm}}$$

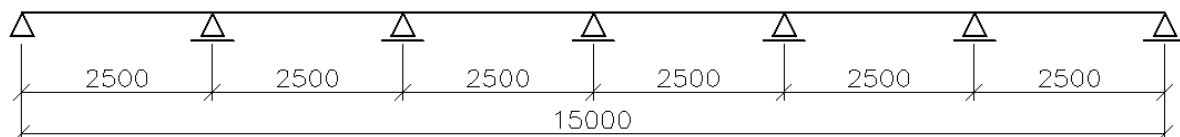
NÁVRH: DESKA 90 mm

4.1.1 Model konstrukce

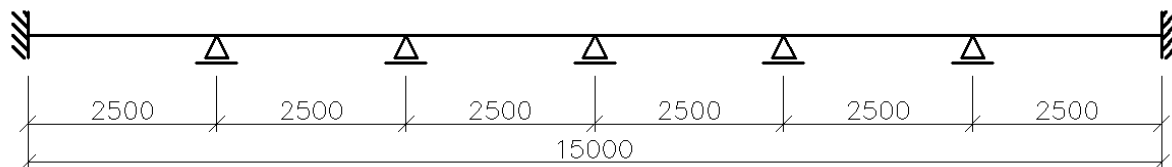
Deska je namodelovaná jako rovinný nosník o šířce 1 m. Je to spojitý nosník o 6-ti polích, který je zatížen stálým zatížením a užitným zatížením stropu. Deska je namodelovaná ve 2 situacích:

1. Krajní podpory jsou kloubové
2. Krajní podpory jako vetknutí

Skutečnost je něco mezi oběma typy modelu, ale takto jsme schopni vykryt jak kladné maximální ohybové momenty, které vznikají v krajním poli, tak maximální záporné ohybové momenty vznikající nad podporami.



Obr. 4-1: Statické schéma ŽB stropní desky, krajní podpory kloubové



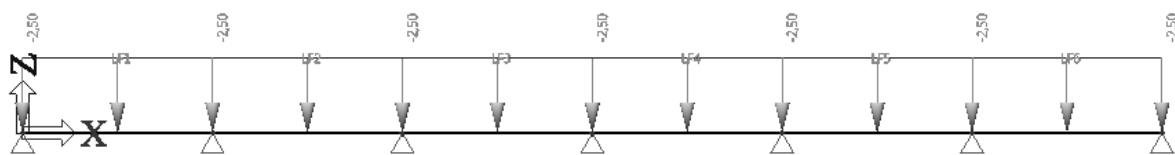
Obr. 4-2: Statické schéma ŽB stropní desky, krajní podpory vetknuté

4.1.2 Zatížení stálé

Konstrukce železobetonové desky se skládá z vlastní ŽB desky a podlahy Techfloor Acrile®100 v tloušťce 10 mm [18].

NÁZEV	Tl. [m]	γ [kN/m ³]	g_k [kN/m ²]
Podlaha	0,01	25	0,25
ŽB deska	0,09	25	2,25

$$g_k = 0,25 + 2,25 = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

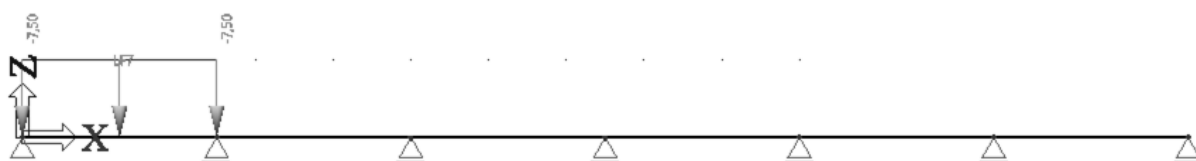


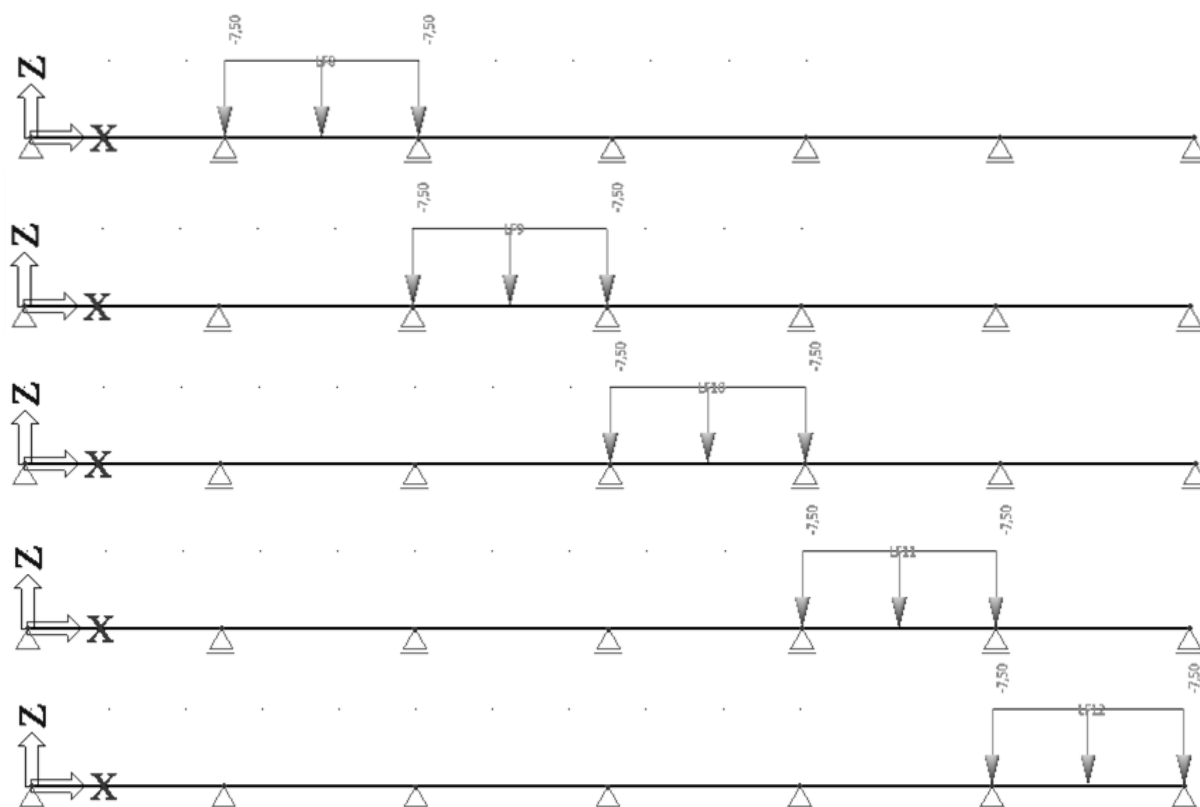
Obr. 4-3: ŽB stropní deska, zatížení stálé

4.1.3 Zatížení užité

Užitné zatížení železobetonové desky uvažujeme jako sklady E1, kde je podle normy [4] charakteristická hodnota zatížení $q_k=7,5 \text{ kN/m}^2$. Užitné zatížení se uvažuje jako zatížení na každém prutu zvlášť, takže vzniká 6 zatěžovacích stavů od užitého zatížení.

$$q_k = 7,5 \text{ kN/m}^2$$

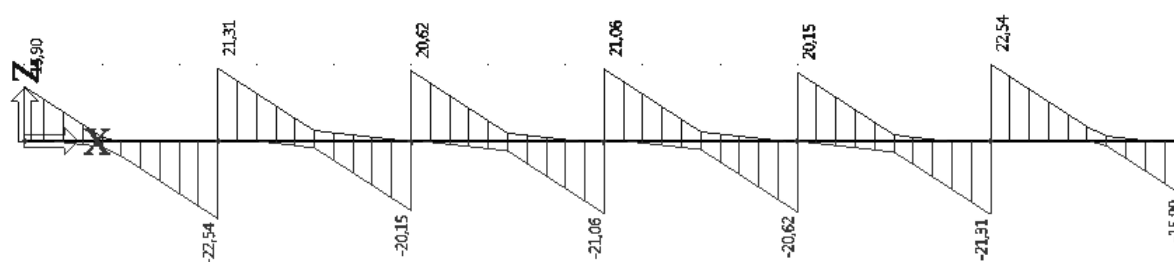




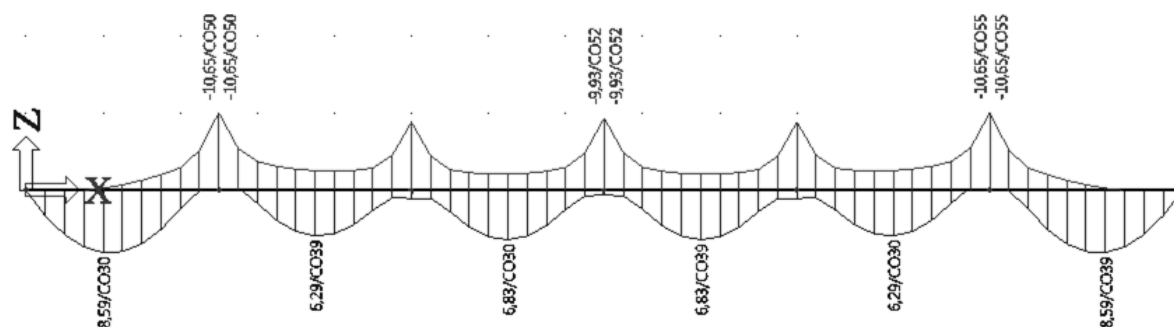
Obr. 4-4: ŽB stropní deska, zatížení užité, jednotlivé zatěžovací stavy

4.1.4 Kombinace zatěžovacích stavů, obalová křivka

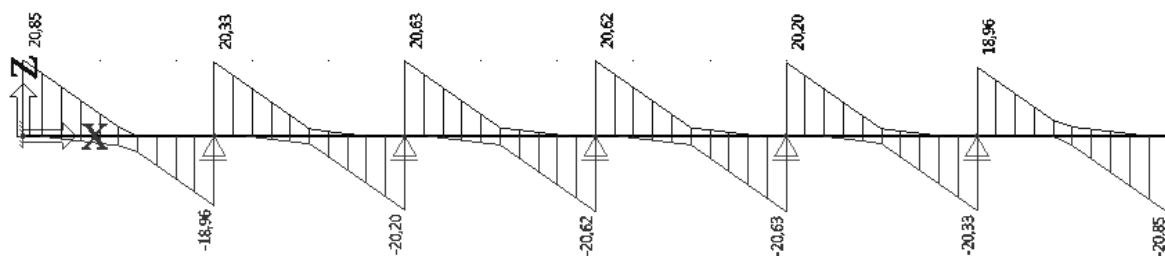
Kombinací jednotlivých zatěžovacích stavů v programu Scia Engineer 2012.0 za použití EN-MSÚ sady B vzniká celkem 193 kombinací.



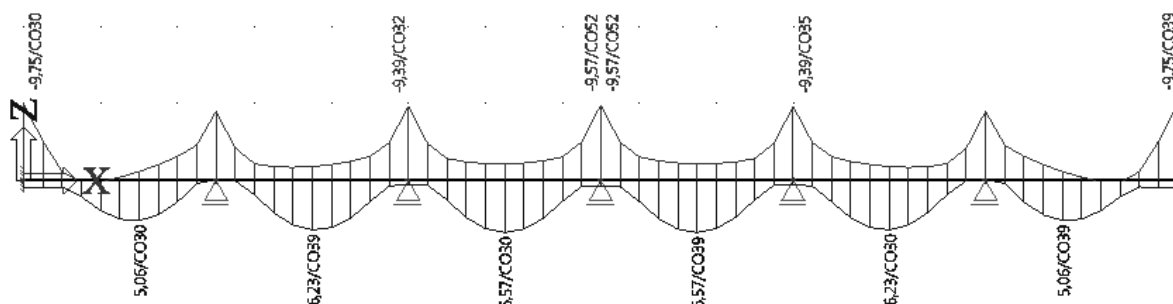
Obr. 4-5: ŽB stropní deska-obalová křivka posouvajících sil, krajní podpory kloubové



Obr. 4-6: ŽB stropní deska-obalová křivka ohybových momentů, krajní podpory kloubové



Obr. 4-7: ŽB stropní deska-obalová křivka posouvajících sil, krajní podpory vetknuté



Obr. 4-8: ŽB stropní deska-obalová křivka ohybových momentů, krajní podpory vetknuté

4.2 Stropní trám

Rozměry trámu jako spojitý nosník se vypočtou podle [13]:

$$h = \left(\frac{1}{14} \sim \frac{1}{17} \right) \cdot l = \left(\frac{1}{14} \sim \frac{1}{17} \right) \cdot 6000 = 428,57 \text{ mm} \sim 352,94 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{h = 500 \text{ mm}}$$

$$b = (0,33 \sim 0,4) \cdot h = (0,33 \sim 0,4) \cdot 500 = 165 \text{ mm} \sim 200 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{b = 300 \text{ mm}}$$

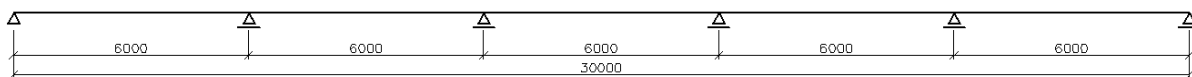
NÁVRH: TRÁM 300x500 mm

4.2.1 Model konstrukce

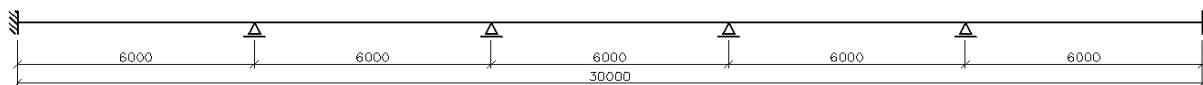
Trám je modelován jako rovinný spojitý nosník o 5-ti polích. Rozměry trámu 300x500 mm. Trám působí jako T-průřez, který zvětšuje roznášecí šířku trámu. Zatížení trámu stálým zatížením a užitným zatížením stropu. Trám je modelován ve 2 situacích:

1. Krajní podpory jsou kloubové
2. Krajní podpory jako vetknutí

Skutečnost je něco mezi oběma typy modelu, ale takto jsme schopni vykrýt maximální kladné ohybové momenty i maximální záporné ohybové momenty, které na konstrukci mohou vzniknout.



Obr. 4-9: Statické schéma ŽB stropního trámu, krajní podpory kloubové



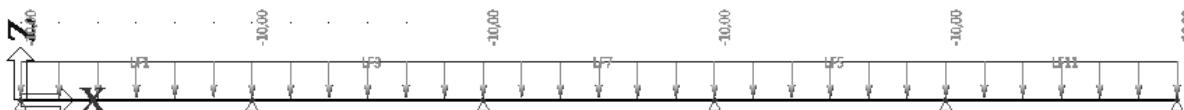
Obr. 4-10: Statické schéma ŽB stropního trámu, krajní podpory vetknuté

4.2.2 Zatížení stálé

Zatížení stálé je pouze bráno jako zatížení vlastní tíhy trámu. Na stranu bezpečnou uvažujeme úplné rozměry trámu, i když bychom mohli odečíst tloušťku desky.

$$g_{k,TRÁMU} = 0,3 \cdot 0,5 \cdot 25 = 3,75 \text{ kN/m}$$

$$g_{k,DESKY} = 2,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,5 \text{ m} = 6,25 \text{ kN/m}$$

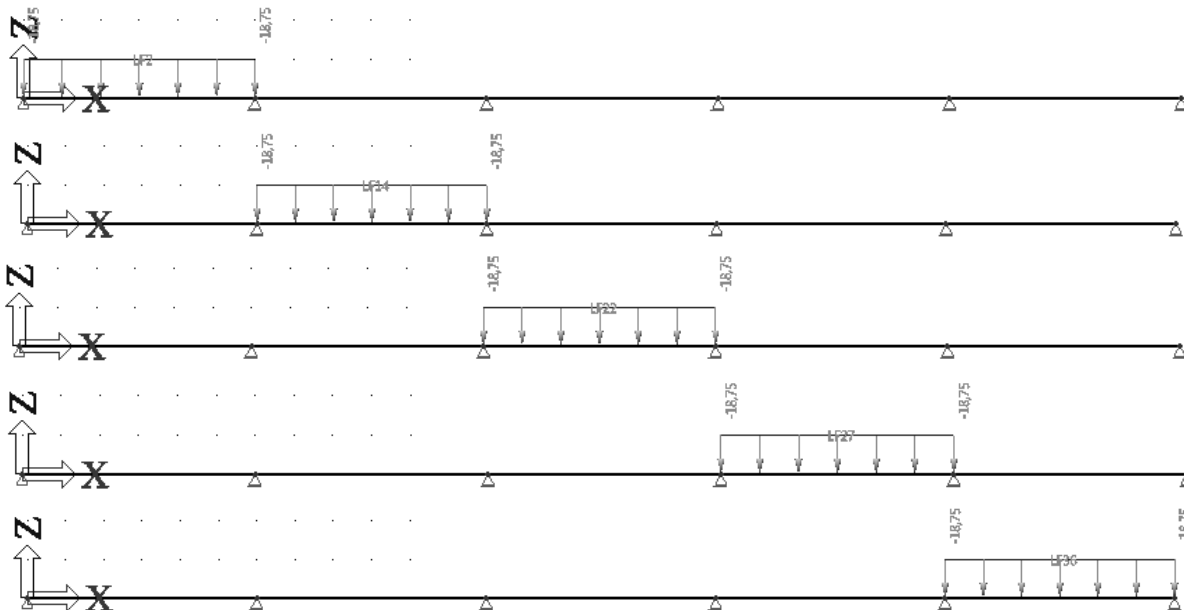


Obr. 4-11: ŽB stropní trám, zatížení stálé

4.2.3 Zatížení užité

Užitné zatížení železobetonového trámu dostaneme tak, že vynásobíme užité zatížení desky a zatěžovací šířku trámu. Užitné zatížení se uvažuje jako jednotlivé zatížení na každém prutu, takže vzniká 5 zatěžovacích stavů od užitého zatížení.

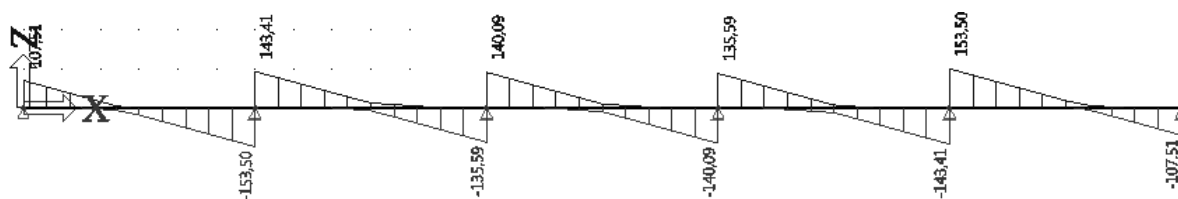
$$q_k = 7,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,5 \text{ m} = 18,75 \text{ kN/m}$$



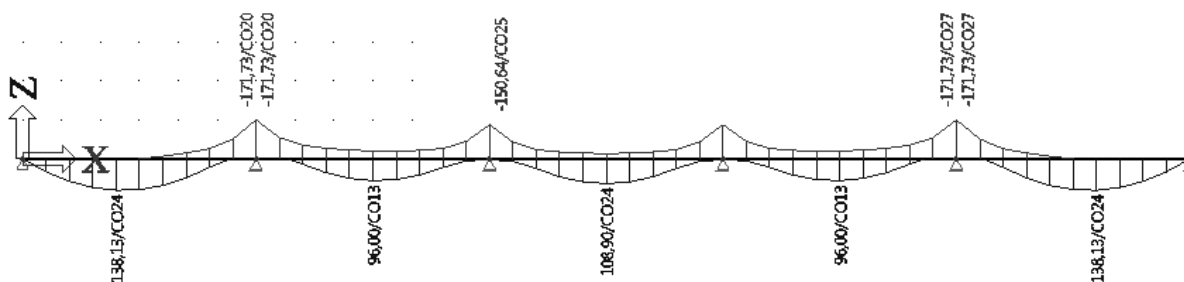
Obr. 4-12: ŽB stropní trám-zatížení užité, jednotlivé zatěžovací stavy

4.2.4 Kombinace zatěžovacích stavů, obalová křivka

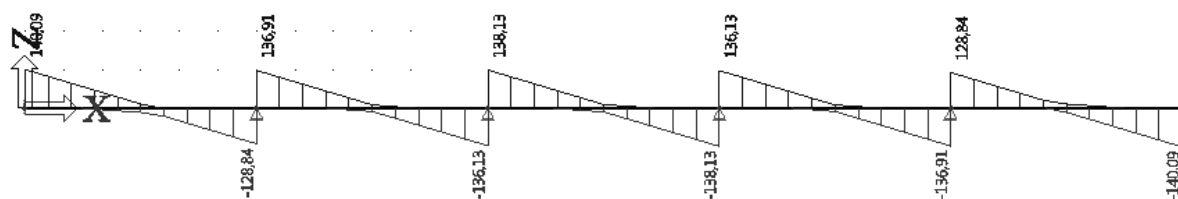
Kombinací jednotlivých zatěžovacích stavů v programu Scia Engineer 2012.0 za použití EN-MSÚ sady B vzniká celkem 97 kombinací.



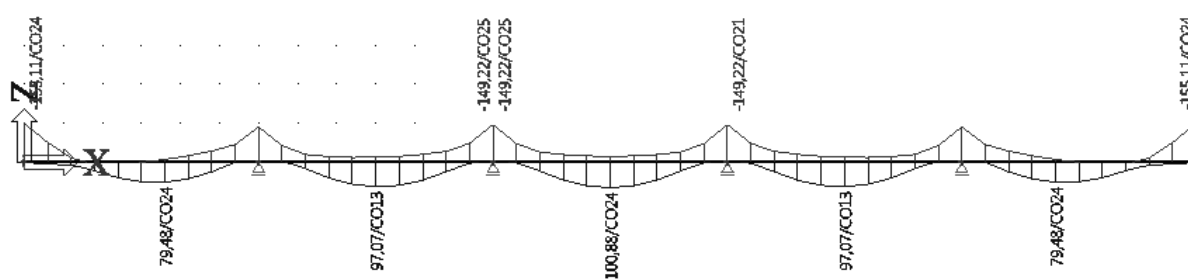
Obr. 4-13: ŽB stropní trám-obalová křivka posouvajících sil, krajní podpory kloubové



Obr. 4-14: ŽB stropní trám-obalová křivka ohybových momentů, krajní podpory kloubové



Obr. 4-15: ŽB stropní trám-obalová křivka posouvajících sil, krajní podpory vetknuté



Obr. 4-16: ŽB stropní trám-obalová křivka ohybových momentů, krajní podpory vetknuté

4.3 Střešní deska

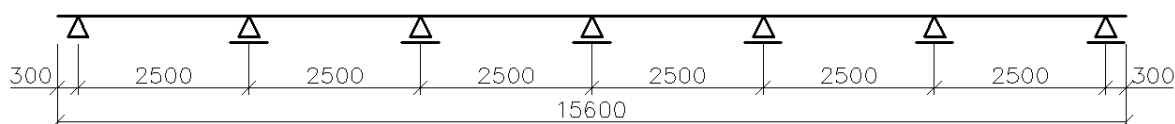
Tloušťka spojité desky [13]:

$$h_d = \left(\frac{1}{30} \sim \frac{1}{33} \right) \cdot l = \left(\frac{1}{30} \sim \frac{1}{33} \right) \cdot 2500 = 83,33 \text{ mm} \sim 75,75 \text{ mm} \rightarrow h_d = 80 \text{ mm}$$

NÁVRH: DESKA 80 mm

4.3.1 Model konstrukce

Deska je namodelovaná jako rovinný nosník o šířce 1 m. V rámci zjednodušení, protože je sklon střechy malý, zanedbáváme sklon desky a desku bereme jako vodorovnou. Deska je modelována jako spojitý nosník o 6-ti polích s převislými konci, je zatížena stálým zatížením, zatížením sněhem a zatížením větrem.



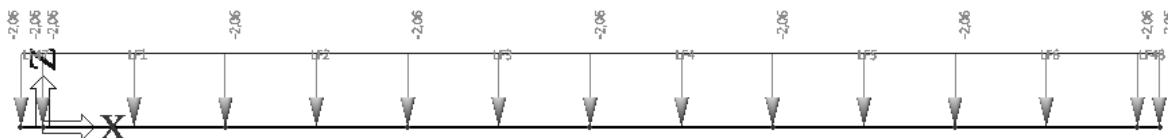
Obr. 4-17: Statické schéma ŽB střešní desky

4.3.2 Zatížení stálé

Konstrukce železobetonové střešní desky se skládá z vlastní ŽB desky a krytiny 11 podle výrobce Dektrade [15].

NÁZEV	Tl. [m]	γ [kN/m ³]	g_k [kN/m ²]
ELASTEK 40 COMBI	-	-	0,02
POLYDEK EPS 100	0,1	0,25	0,025
GLASTEK 40 SPECIAL MINERAL	-	-	0,02
ŽB DESKA	0,08	25	2

$$g_k = 0,02 + 0,025 + 0,02 + 2 = 2,065 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 4-18: ŽB střešní deska, zatížení stálé

4.3.3 Zatížení sněhem

Zatížení sněhem se počítá podle normy [5]. Sněhové oblasti si najdeme v normě a podle lokality objektu určíme zatížení sněhem. Navrhovaný objekt se nachází v Ostravě. Dalším faktorem u zatížení sněhem je sklon střechy, součinitel expozice a tepelný součinitel. Při zatížení sněhem nastávají 3 zatěžovací stavy.

Lokalita: OSTRAVA (II. sněhová oblast)

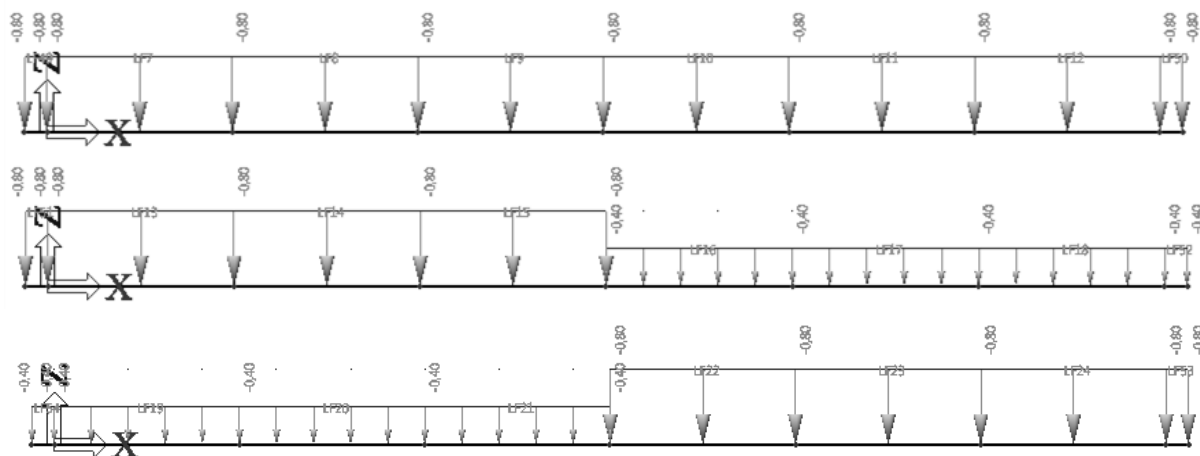
Sněhová oblast II: $s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$

Sklon střechy ($\alpha = 4^\circ$): $\mu_i = 0,8$

Součinitel expozice (Typ krajiny-normální): $C_e = 1,0$

Tepelný součinitel ($\lambda < 1,0 \text{ w/m}^2\text{K}$): $C_t = 1,0$

$$s_k = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 4-19: ŽB střešní deska, zatížení sněhem

4.3.4 Zatížení větrem

Zatížení větrem se počítá podle normy [6]. Větrné oblasti se nachází v normě [6] a podle lokality objektu určíme její zatížení. Navrhovaný objekt se nachází v Ostravě. Dalším faktorem je větrná oblast, kategorie terénu a výška objektu. Při zatížení větrem nastávají 3 zatěžovací stavy.

Lokalita: OSTRAVA (II. větrná oblast, III. kategorie terénu)

Větrná oblast	
I	22,5 m/s
II	25 m/s
III	27,5 m/s
IV	30 m/s
V	36 m/s

$$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$$

$$c_{dir} = 1$$

$$c_{season} = 1$$

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

$$v_b = 25 \text{ m/s}$$

Kat. terénu	z ₀ (m)	z _{min} (m)
0	0,003	1
I	0,01	1
II	0,05	2
III	0,3	5
IV	1	10

$$h = 9 \text{ m}$$

$$z_e = 9 \text{ m}$$

$$z_i = 9 \text{ m}$$

$$z = z_e = z_i = h$$

III. kategorie terénu		
$z = z_e = z_i =$	9 m	$z_{min} = 5 \text{ m}$ Vyhovuje
$k_r =$	0,2154	$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{u, u'}$
$c_r(z) =$	0,7326	$c_r(z) = k_r \cdot \ln \frac{z}{z_0}$
$c_0(z) =$	1	$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b$
$v_m(z) =$	18,315 m/s	$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln \frac{z}{z_0}}$
$I_v(z) =$	0,294	$\rho = 1,25$
$q_p(z) =$	641,1 N/m ²	$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2$
$q_p(z) =$	0,641 kN/m ²	

Střechy-ploché

$$c_{pe,10}^{F-} = -1,8$$

$$c_{pe,10}^{G-} = -1,2$$

$$c_{pe,10}^{H-} = -0,7$$

$$c_{pe,10}^{I-} = -0,2$$

$$c_{pe,10}^{I+} = 0,2$$

$$w_k = q_p(z) \cdot (c_{pe} - c_{pi})$$

Výsledné tlaky větru na střešní plášť

$$c_{pi}^{+} = 0,2$$

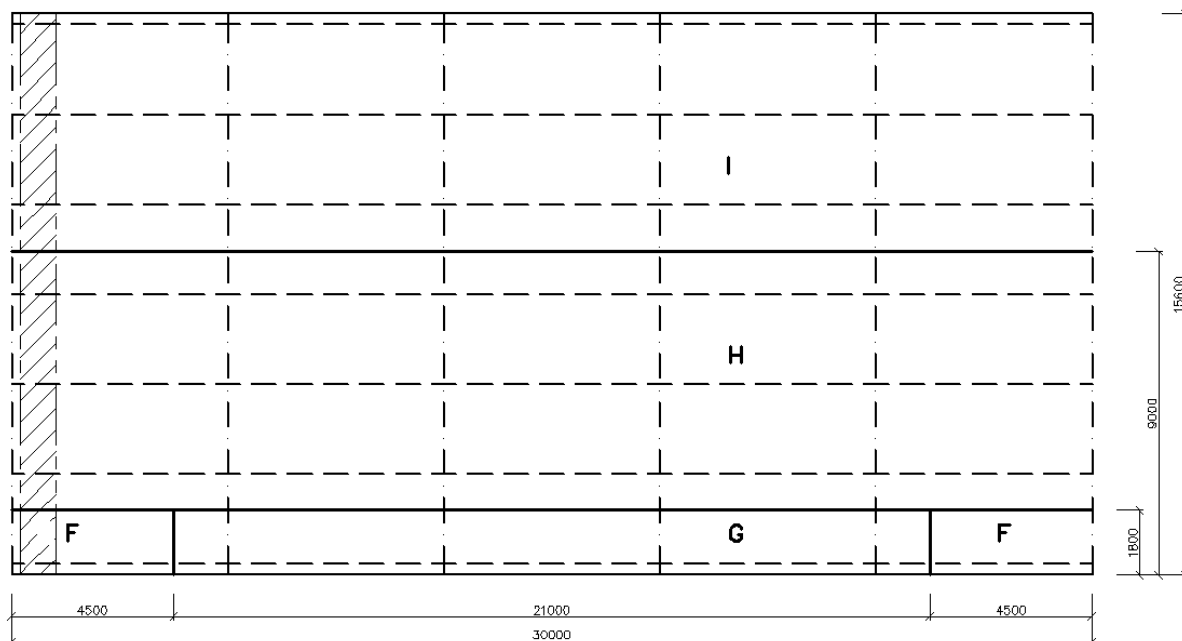
$$c_{pi}^{-} = -0,3$$

III. kategorie terénu	
$w_k^{F-} =$	-1,282 kN/m ²
$w_k^{G-} =$	-0,898 kN/m ²
$w_k^{H-} =$	-0,577 kN/m ²
$w_k^{I-} =$	-0,256 kN/m ²
$w_k^{I+} =$	0,000 kN/m ²

III. kategorie terénu	
$w_k^{F-} =$	-0,962 kN/m ²
$w_k^{G-} =$	-0,577 kN/m ²
$w_k^{H-} =$	-0,256 kN/m ²
$w_k^{I-} =$	0,064 kN/m ²
$w_k^{I+} =$	0,321 kN/m ²

VÍTR PŘÍČNÝ

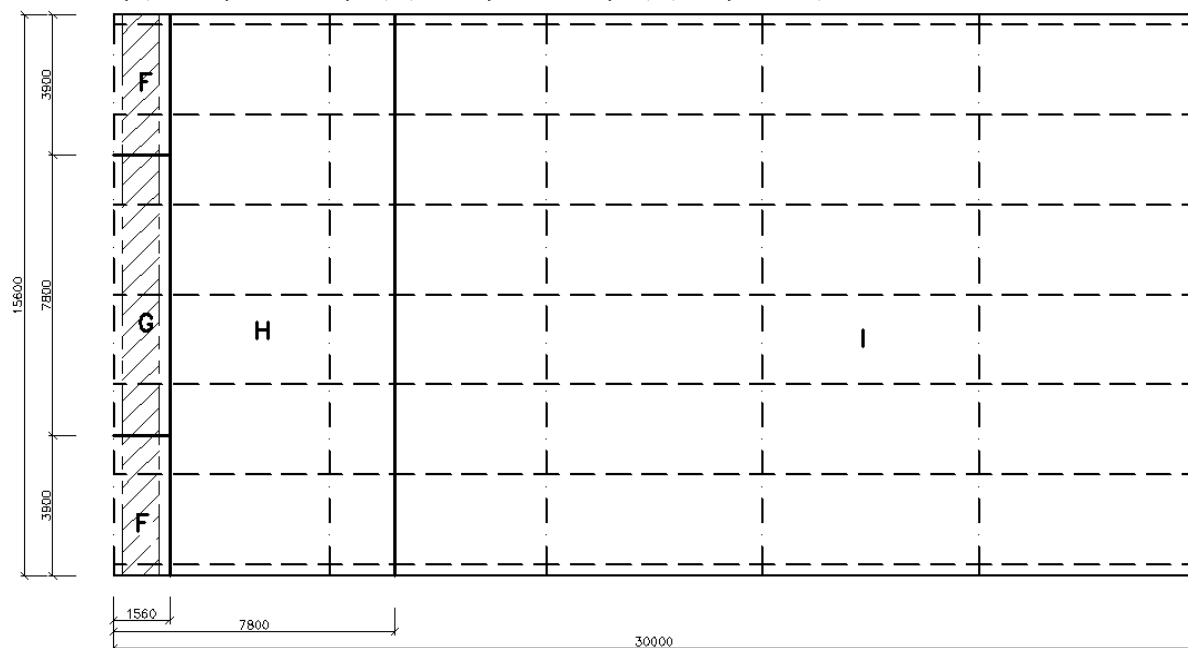
$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(36; 2 \cdot 9) = \min(36; 18) = 18 \text{ m}$$

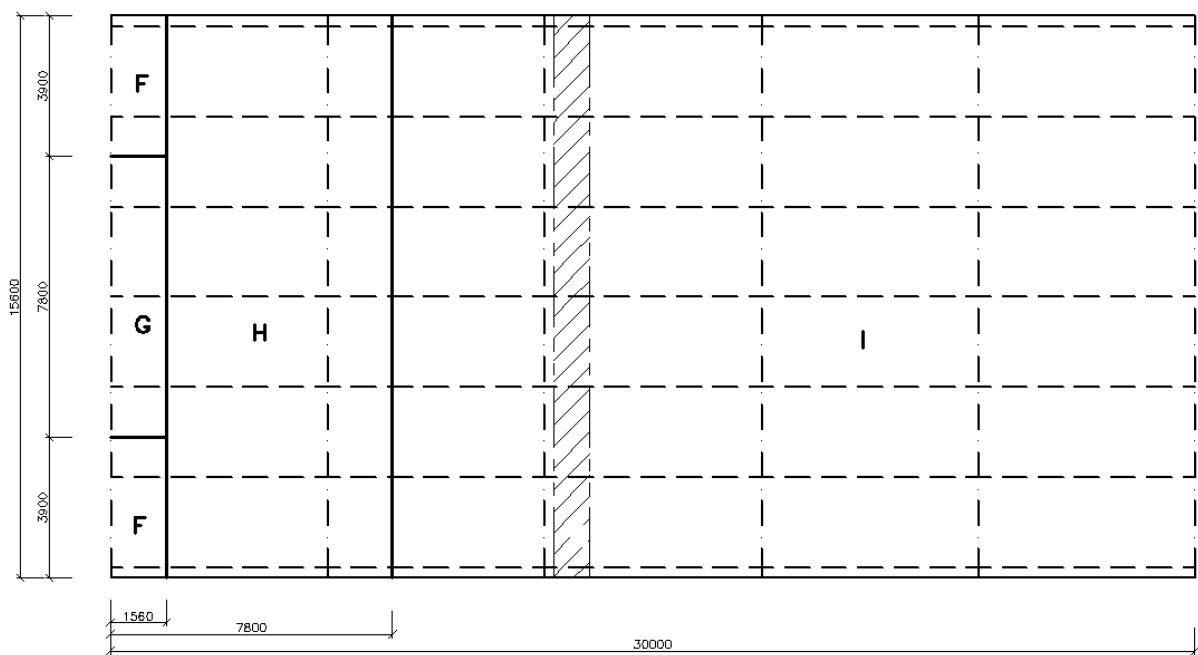


Obr. 4-20: Půdorys střechy, zatížení větrem příčným

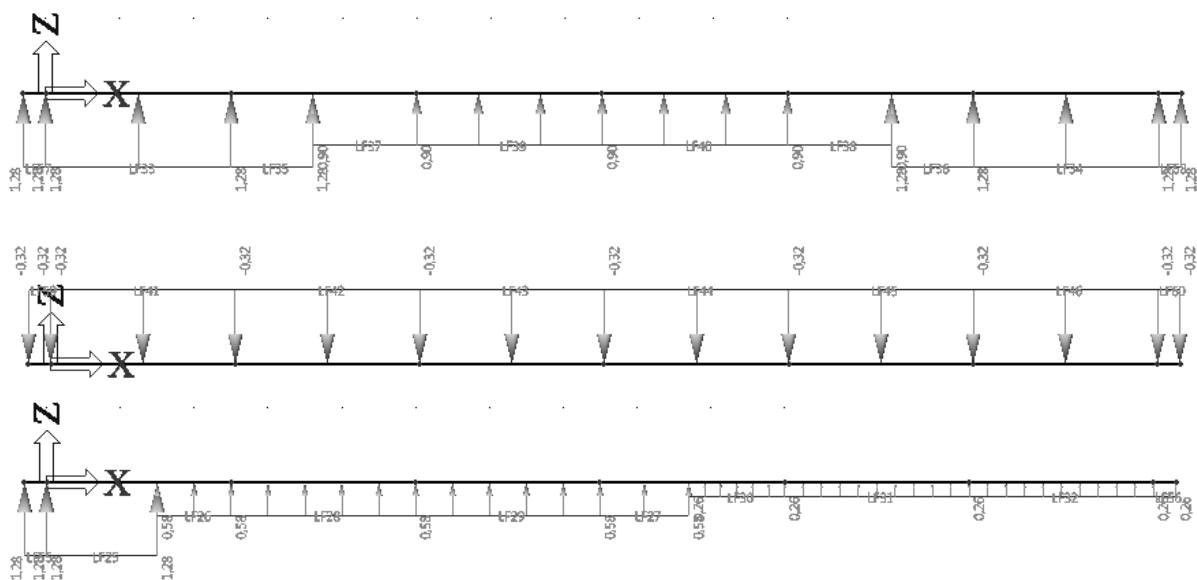
VÍTR PODÉLNÝ

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(15,6; 2 \cdot 9) = \min(15,6; 18) = 15,6 \text{ m}$$





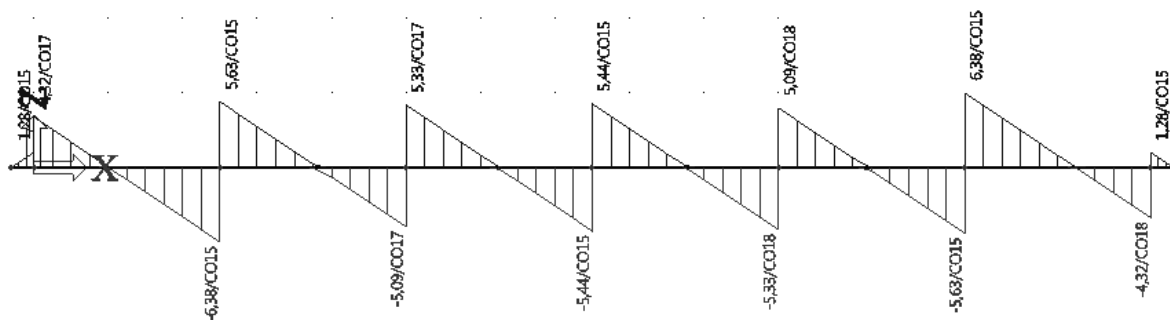
Obr. 4-21: Půdorys střechy, zatížení větrem podélným



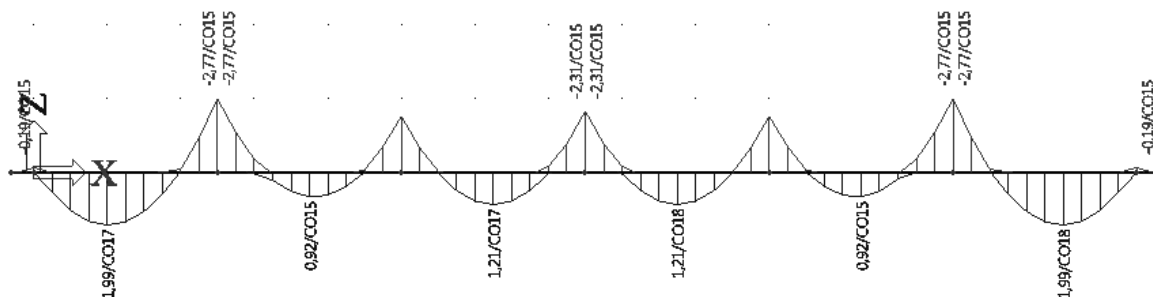
Obr. 4-22: ŽB střešní deska, zatížení větrem

4.3.5 Kombinace zatěžovacích stavů, obalová křivka

Kombinací jednotlivých zatěžovacích stavů v programu Scia Engineer 2012.0 za použití EN-MSÚ sady B vzniká celkem 79 kombinací.



Obr. 4-23: ŽB střešní deska-obalová křivka posouvajících sil



Obr. 4-24: ŽB střešní deska-obalová křivka ohybových momentů

4.4 Střešní trám

Rozměry trámu [13]:

$$h = \left(\frac{1}{14} \sim \frac{1}{17} \right) \cdot l = \left(\frac{1}{14} \sim \frac{1}{17} \right) \cdot 6000 = 428,57 \text{ mm} \sim 352,94 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{h = 400 \text{ mm}}$$

$$b = (0,33 \sim 0,4) \cdot h = (0,33 \sim 0,4) \cdot 400 = 132 \text{ mm} \sim 160 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{b = 200 \text{ mm}}$$

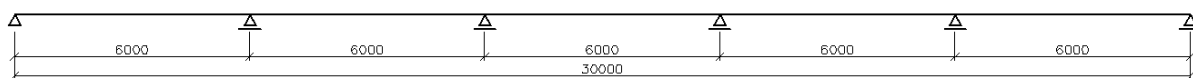
NÁVRH: TRÁM 200x400 mm

4.4.1 Model konstrukce

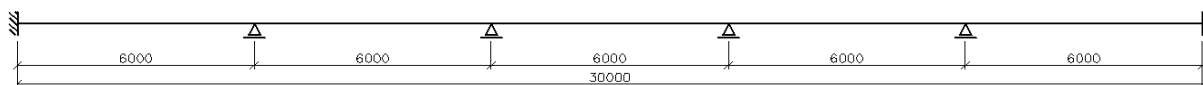
Trám je modelován jako rovinný spojitý nosník o 5-ti polích, jehož rozměry jsou 200x400 mm. Trám působící jako T-průřez zvětšuje roznášecí šířku trámu. Trám je zatížen zatížením stálým, zatížením sněhem a zatížením větrem. Je modelován ve 2 návrhových situacích:

1. Krajní podpory jsou kloubové
2. Krajní podpory jako vetknutí

Skutečnost je něco mezi těmito typy modelu. Takto jsme však schopni vykryt maximální kladné ohybové momenty i maximální záporné ohybové momenty vznikající v konstrukci.



Obr. 4-25: Statické schéma ŽB střešního trámu, krajní podpory kloubové



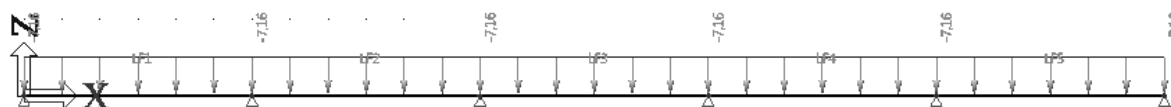
Obr. 4-26: Statické schéma ŽB střešního trámu, krajní podpory vetknuté

4.4.2 Zatížení stálé

Zatížení stálé je pouze bráno jako zatížení vlastní tíhy trámu. Abychom byli na straně bezpečné, uvažujeme úplné rozměry trámu, ikdyž bychom mohli odečíst tloušťku desky.

$$g_{k,TRÁMU} = 0,2 \cdot 0,4 \cdot 25 = 2 \text{ kN/m}$$

$$g_{k,DESKY} = 2,065 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,5 \text{ m} = 5,16 \text{ kN/m}$$

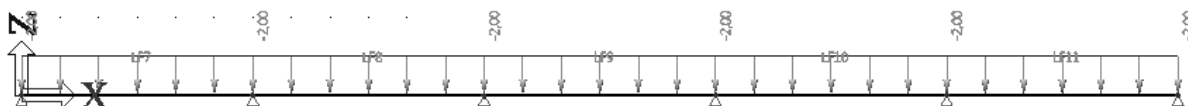


Obr. 4-27: ŽB střešní trám, zatížení stálé

4.4.3 Zatížení sněhem

Zatížení sněhem u železobetonového střešního trámu vypočteme tak, že přenásobíme zatěžovací šířku zatížení sněhem střešní desky. Protože bereme nejzatíženější střešní trám, který je druhý zkraje, dostáváme pouze 1 zatěžovací stav zatížení sněhem.

$$q_k = 0,8 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,5 \text{ m} = 2,0 \text{ kN/m}$$



Obr. 4-28: ŽB střešní trám, zatížení sněhem

4.4.4 Zatížení větrem

Zatížení větrem u železobetonového střešního trámu vypočteme tak, že vynásobíme zatížení větrem střešní desky zatěžovací šířkou. U zatížení větrem dostáváme 3 zatěžovací stavy.

VÍTR PODÉLNÝ

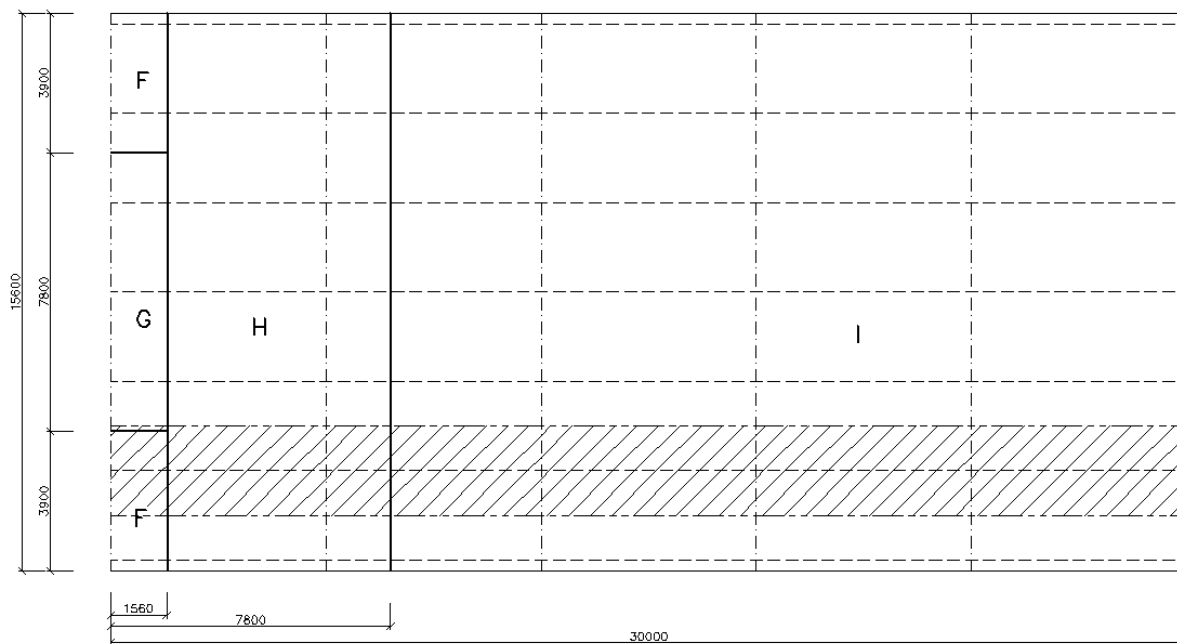
$$w_k^{F-G-} = 2,35 \cdot w_k^{F-} + 0,15 \cdot w_k^{G-} = 2,35 \cdot (-1,282) + 0,15 \cdot (-0,898) \\ = -3,147 \text{ kN/m}$$

$$w_k^{H-} = 2,5 \cdot w_k^{H-} = 2,5 \cdot (-0,577) = -1,443 \text{ kN/m}$$

$$w_k^{I-} = 2,5 \cdot w_k^{I-} = 2,5 \cdot (-0,256) = -0,640 \text{ kN/m}$$

$$w_k^{I+} = 2,5 \cdot w_k^{I+} = 2,5 \cdot (+0,321) = +0,803 \text{ kN/m}$$

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(30; 2 \cdot 9) = \min(30; 18) = 18 \text{ m}$$



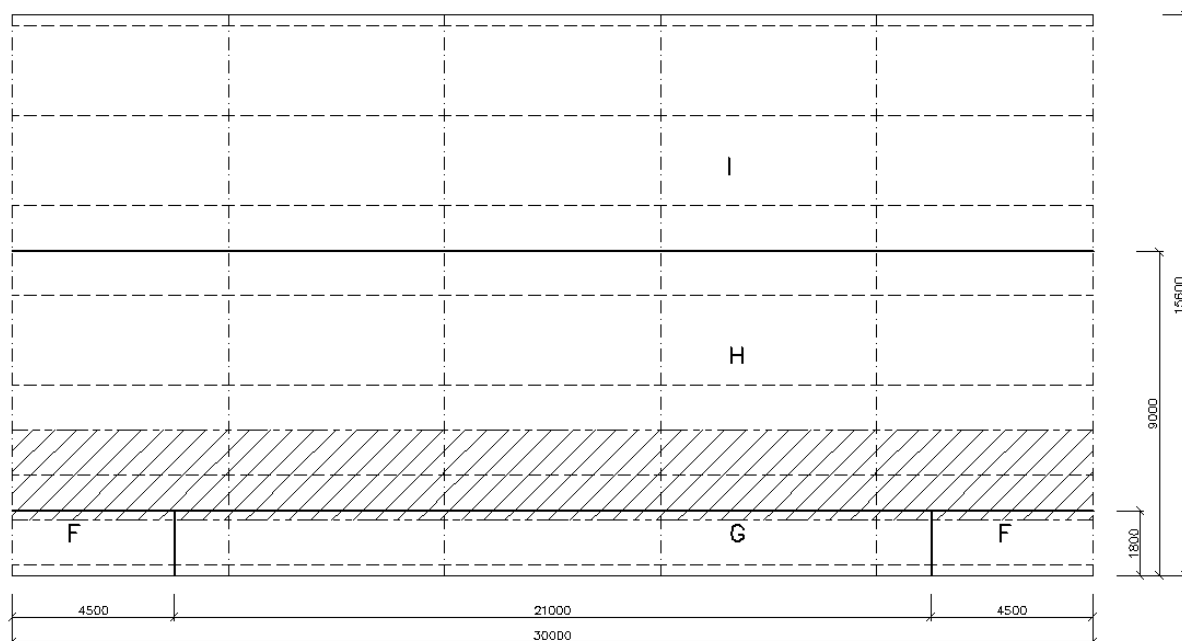
Obr. 4-29: Půdorys střechy, zatížení větrem podélným

VÍTR PŘÍČNÝ

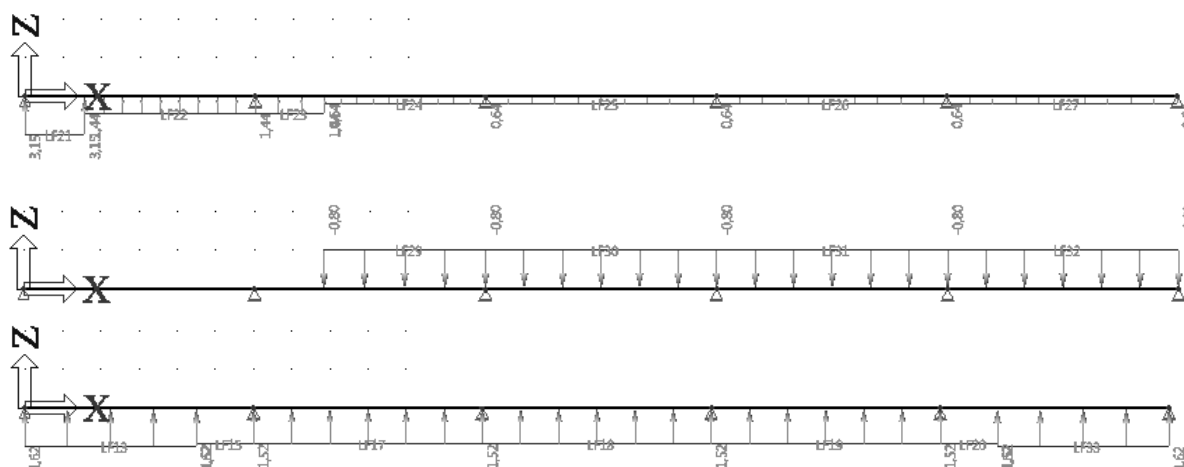
$$w_k^{F-H-} = 0,25 \cdot w_k^{F-} + 2,25 \cdot w_k^{H-} = 0,25 \cdot (-1,282) + 2,25 \cdot (-0,577) \\ = -1,619 \text{ kN/m}$$

$$w_k^{G-H-} = 0,25 \cdot w_k^{G-} + 2,25 \cdot w_k^{H-} = 0,25 \cdot (-0,898) + 2,25 \cdot (-0,577) \\ = -1,523 \text{ kN/m}$$

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(15,6; 2 \cdot 9) = \min(15,6; 18) = 15,6 \text{ m}$$



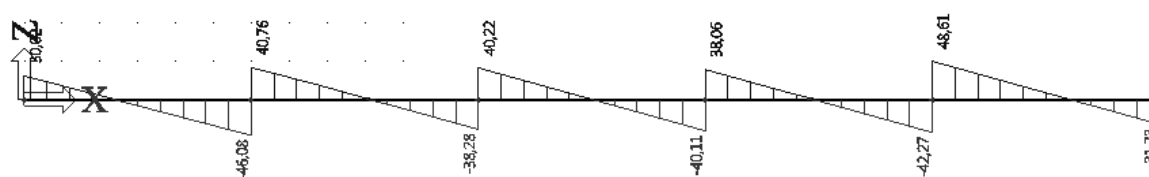
Obr. 4-30: Půdorys střechy, zatížení větrem příčným



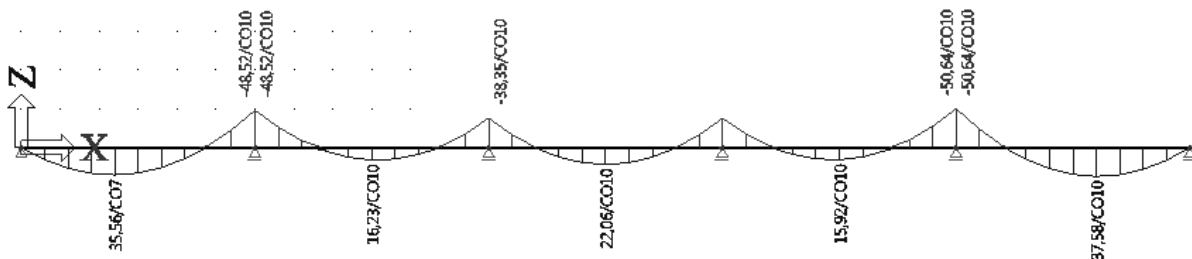
Obr. 4-31: ŽB střešní trám, zatížení větrem

4.4.5 Kombinace zatěžovacích stavů, obalová křivka

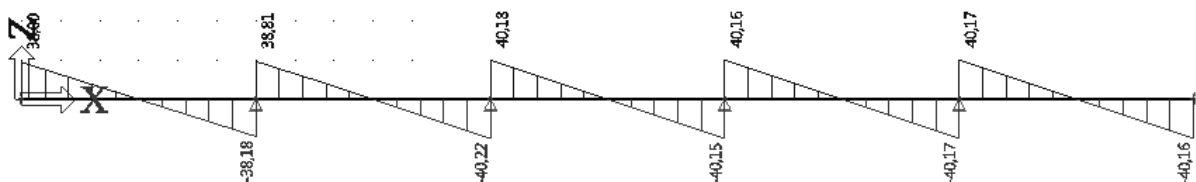
Kombinací jednotlivých zatěžovacích stavů v programu Scia Engineer 2012.0 za použití EN-MSÚ sady B vzniká celkem 39 kombinací.



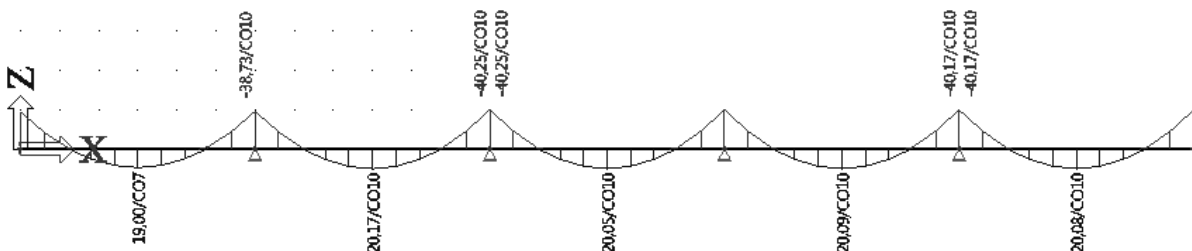
Obr. 4-32: ŽB střešní trám-obalová křivka posouvajících sil, krajní podpory kloubové



Obr. 4-33: ŽB střešní trám-obalová křivka ohybových momentů, krajní podpory kloubové



Obr. 4-34: ŽB střešní trám-obalová křivka posouvajících sil, krajní podpory vetknuté



Obr. 4-35: ŽB střešní trám-obalová křivka ohybových momentů, krajní podpory vetknuté

4.5 Rám

PRŮVLAK POD STROPEM [13]:

$$h = \left(\frac{1}{12} \sim \frac{1}{14} \right) \cdot l = \left(\frac{1}{12} \sim \frac{1}{14} \right) \cdot 7500 = 625 \text{ mm} \sim 535,71 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{h = 700 \text{ mm}}$$

$$b = (0,3 \sim 0,5) \cdot h = (0,3 \sim 0,5) \cdot 700 = 210 \text{ mm} \sim 350 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{b = 400 \text{ mm}}$$

NÁVRH: STROPNÍ PRŮVLAK 400x700 mm

PRŮVLAK POD STŘECHOU [13]:

$$h = \left(\frac{1}{12} \sim \frac{1}{14} \right) \cdot l = \left(\frac{1}{12} \sim \frac{1}{14} \right) \cdot 15000 = 1250 \text{ mm} \sim 1071,43 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{h = 1000 \text{ mm}}$$

$$b = (0,3 \sim 0,5) \cdot h = (0,3 \sim 0,5) \cdot 1000 = 300 \text{ mm} \sim 500 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{b = 400 \text{ mm}}$$

NÁVRH: STŘEŠNÍ PRŮVLAK 400x1000 mm

SLOUPY:

NÁVRH: SLOUP 600x400 mm

4.5.1 Model konstrukce

Rámová konstrukce je modelována jako rovinný rám. Rozměry stropního průvlaku jsou 400x700 mm, střešního průvlaku 400x1000 mm a rozměr sloupů je 600x400 mm. Průvlaky působí jako obdélníkový průřez. Rám je zatížen zatížením stálým, zatížením užitným, zatížením sněhem a zatížením větrem. Rám je modelován ve 2 návrhových situacích:

1. Bez vlivu poddolování
2. S vlivem poddolování

Nejprve bude rám vypočítán bez vlivu poddolování, následně pak s vlivem poddolování. Při modelování rámu s vlivem poddolování bude využito interakce s podložím v programu Scia Engineer 2012.0 v modulu Soilin [17]. Do tohoto modulu je nutné zavést tyto vlastnosti:

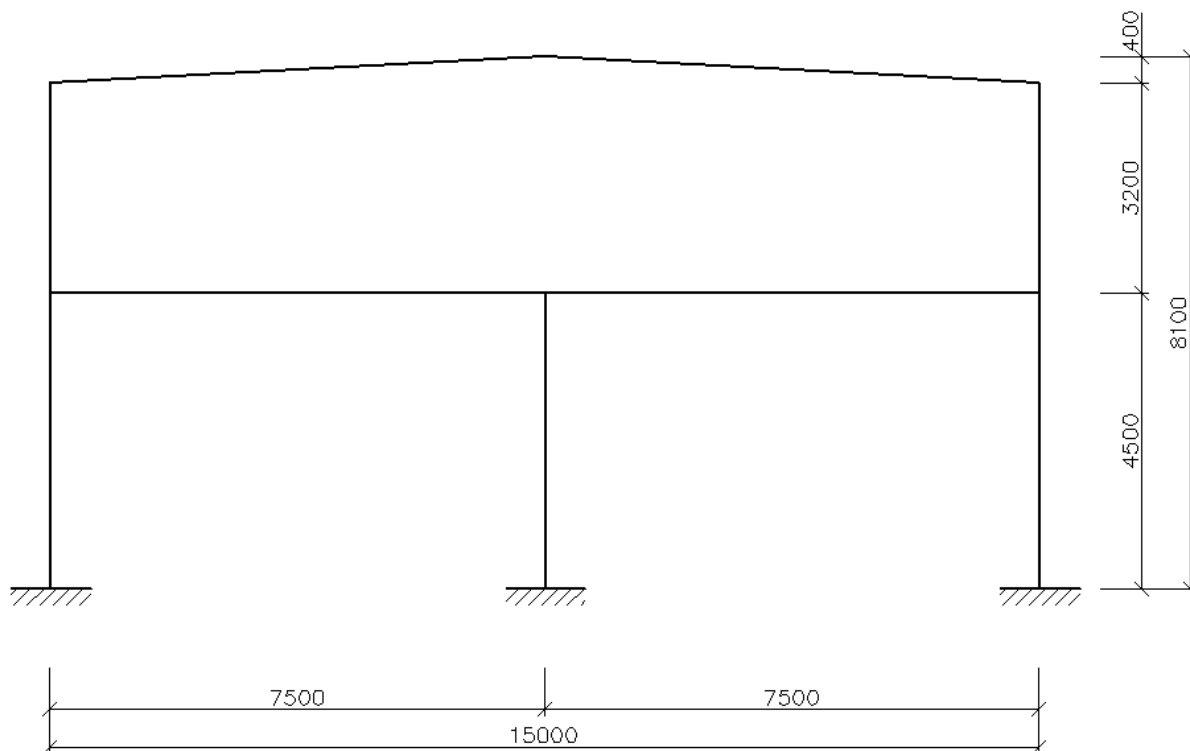
1. Tloušťka vrstvy h
2. Modul deformace E_{def}
3. Poissonova konstanta ν
4. Objemová tíha zeminy γ
5. Součinitel strukturní pevnosti zeminy m

Zvolená zemina pro interakci s podložím je MG (F1)-hlína šterkovitá, jejíž konzistence je tuhá. Charakteristiky zeminy jsou brány podle směrných normových charakteristik podle normy [2].

Charakteristiky příslušné zeminy MG (F1):

1. $R_{dt} = 200 \text{ kPa}$
2. $E_{def} = 10 \text{ až } 20 \text{ kPa} \rightarrow \text{zvoleno } 15 \text{ kPa}$
3. $\nu = 0,35$
4. $\gamma_{suché} = 19 \text{ kN/m}^3$
5. $\gamma_{mokrý} = 22 \text{ kN/m}^3$
6. $m = 0,2$

K interakci mezi s podložím je namodelovaná pružná podpora s odpovídající tuhosti Winklerovy konstanty C_1 , která je stanovena pomocí sedání konstrukce, viz kapitola 4.5.8.



Obr. 4-36: Statické schéma ŽB rámu

4.5.2 Zatížení stálé

Zatížení stálé je vyvoláno vlastní tíhou celého rámu-jednotlivých prvků a sloupů a je generováno automaticky programem Scia Engineer 2012.0. Dalším stálým zatížením je obvodový plášť objektu Fischer Isotherm plus 60 [16], který má hmotnost danou výrobcem $13,3 \text{ kg/m}^2$ zavěšený na sloupech.

PRŮVLAK POD STROPEM:

$$g_{k,PRŮVLAKU} = 0,4 \cdot 0,7 \cdot 25 = 7 \text{ kN/m (generováno automaticky)}$$

$$F_{1k,DESKY+TRÁMU} = 2,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,5 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} + 0,3 \cdot 0,5 \cdot 25 \cdot 6 = 37,5 + 22,5 = 60 \text{ kN}$$

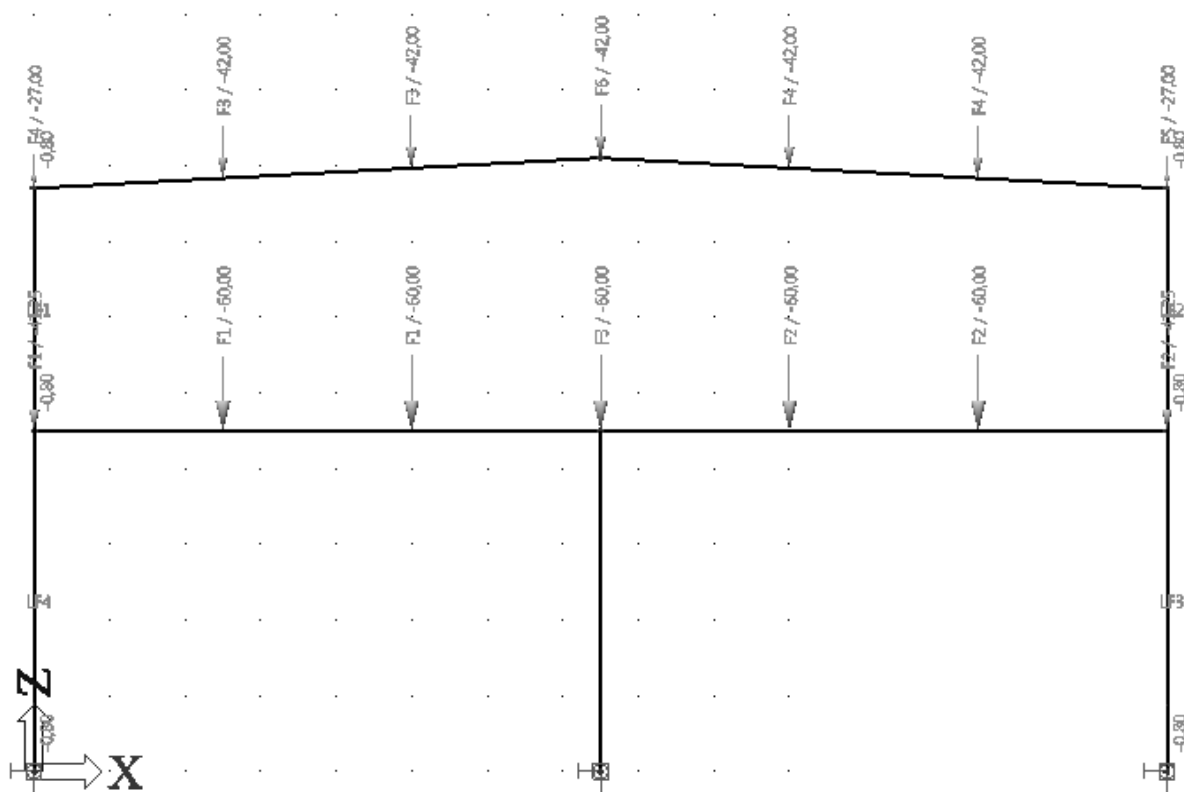
$$F_{2k,DESKY+TRÁMU} = 2,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,25 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} + 0,3 \cdot 0,5 \cdot 25 \cdot 6 = 18,75 + 22,5 \\ = 41,25 \text{ kN}$$

PRŮVLAK POD STŘECHOU:

$$g_{k,PRŮVLAKU} = 0,4 \cdot 1,0 \cdot 25 = 10 \text{ kN/m (generováno automaticky)}$$

$$F_{1k,DESKY+TRÁMU} = 2,0 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,5 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} + 0,2 \cdot 0,4 \cdot 25 \cdot 6 = 30 + 12 = 42 \text{ kN}$$

$$F_{2k,DESKY+TRÁMU} = 2,0 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,25 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} + 0,2 \cdot 0,4 \cdot 25 \cdot 6 = 15 + 12 = 27 \text{ kN}$$

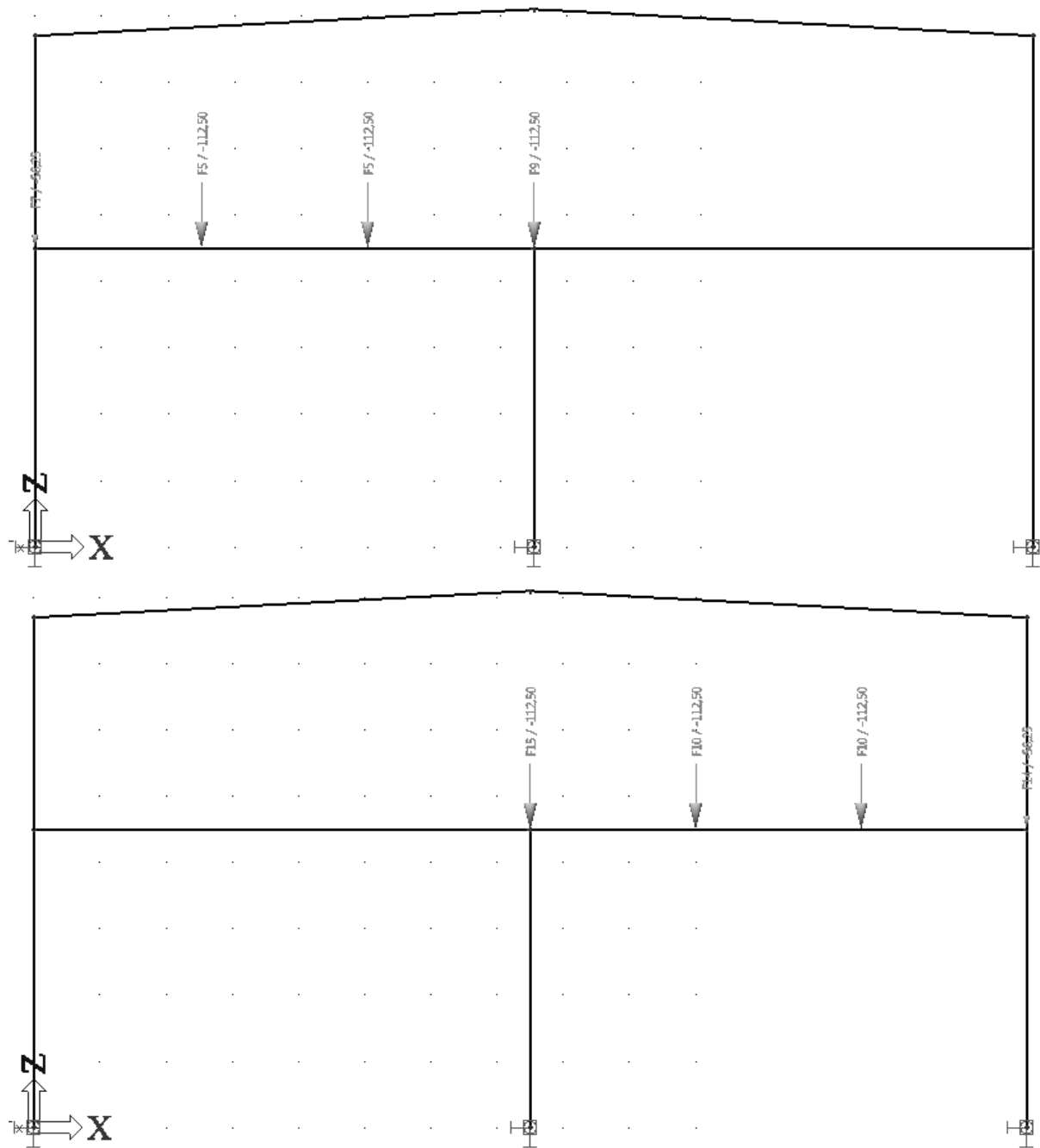
$$g_{k,SLOUPIU} = 0,4 \cdot 0,6 \cdot 25 = 6 \text{ kN/m (generováno automaticky)}$$
$$g_{k.PLÁŠTĚ} = 0,133 \cdot 6 = 0,8 \text{ kN/m}$$


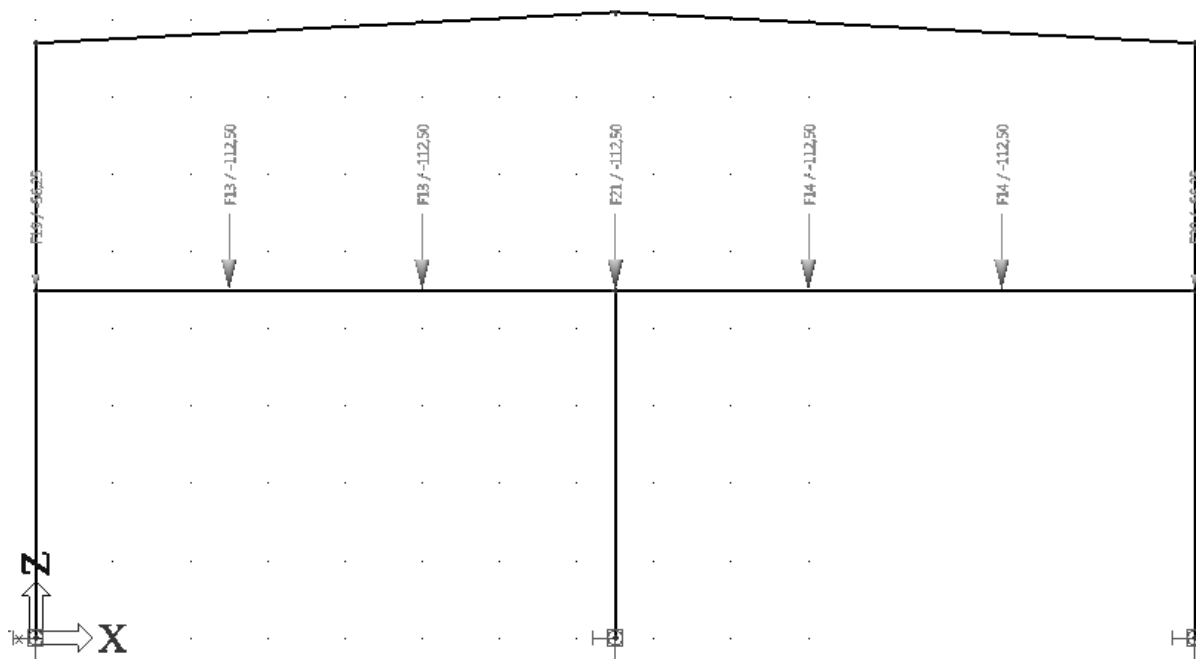
Obr. 4-37: ŽB rám, zatížení stálé (vlastní tíha generovaná automaticky softwarem)

Zatížení užité dostaneme přenásobením zatěžovacích šířek na stropní desce v podélném a příčném směru a tím dostaneme bodové zatížení v místech stropních trámů. Musíme zde respektovat i stav, že zatížení užité bude pouze v levé části rámu a v pravé části rámu nebude a naopak. Vznikají tak 3 zatěžovací stavy.

$$F_{1,k} = 7,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,5 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} = 112,5 \text{ kN}$$

$$F_{2,k} = 7,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,25 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} = 56,25 \text{ kN}$$





Obr. 4-38: ŽB rám, zatížení užité

4.5.4 Zatížení sněhem

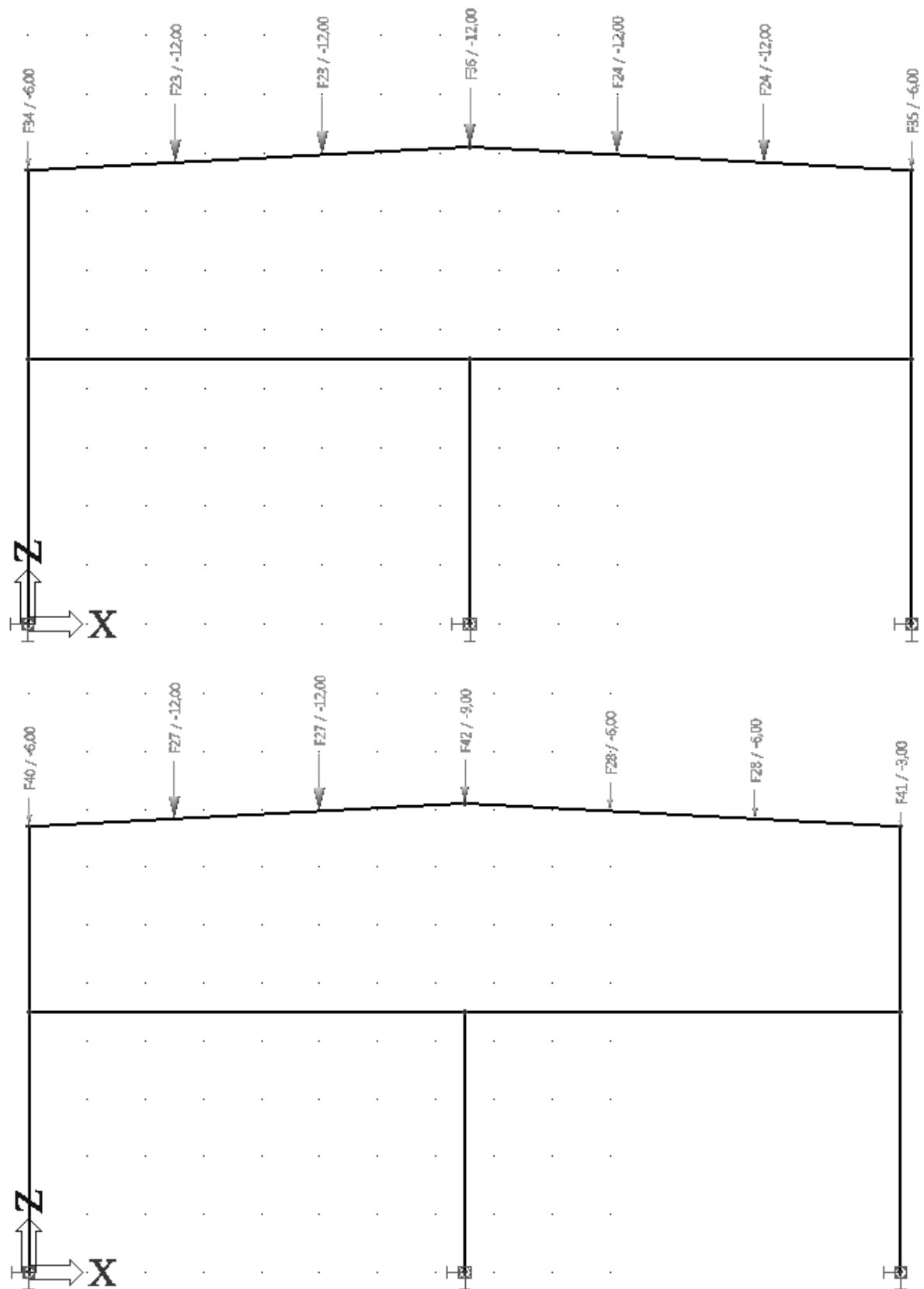
Zatížení sněhem dostaneme tak, že přenásobíme zatěžovací šířky na střešní desky v podélném i příčném směru a tím dostaneme bodové zatížení v místech střešních trámů. Vznikají tak 3 zatěžovací stavy.

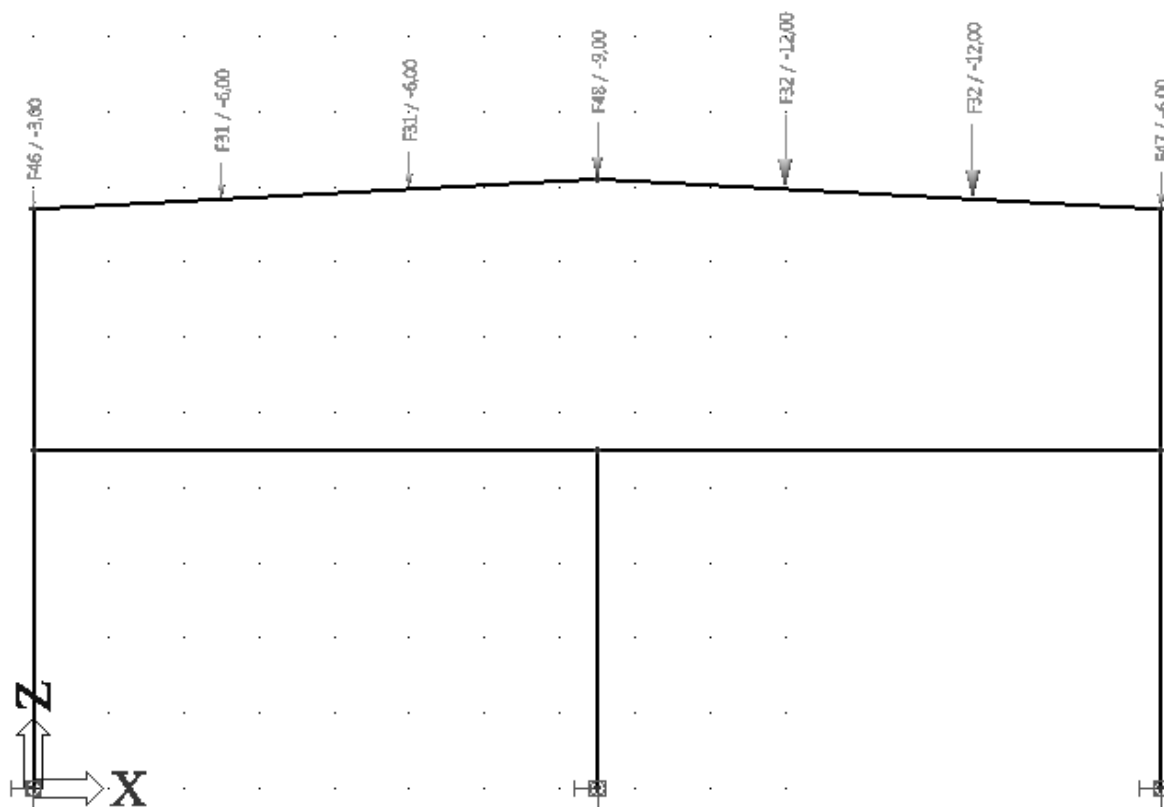
$$F_{1,k} = 0,8 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,5 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} = 12 \text{ kN}$$

$$F_{2,k} = 0,8 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,25 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} = 6 \text{ kN}$$

$$F_{3,k} = 0,4 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,5 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} = 6 \text{ kN}$$

$$F_{4,k} = 0,4 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,25 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} = 3 \text{ kN}$$





Obr. 4-39: ŽB rám, zatížení sněhem

4.5.5 Zatížení větrem

Zatížení větrem působí v místech jednotlivých střešních trámů. U zatížení větrem vznikají 3 zatěžovací stavy:

1. ZATÍŽENÍ VĚTREM – PŘÍČNÝM

$$w_k^{D+} = 0,349 \text{ kN/m}^2 \cdot 6 \text{ m} = 2,09 \text{ kN/m}$$

$$w_k^{E-} = -0,376 \text{ kN/m}^2 \cdot 6 \text{ m} = -2,26 \text{ kN/m}$$

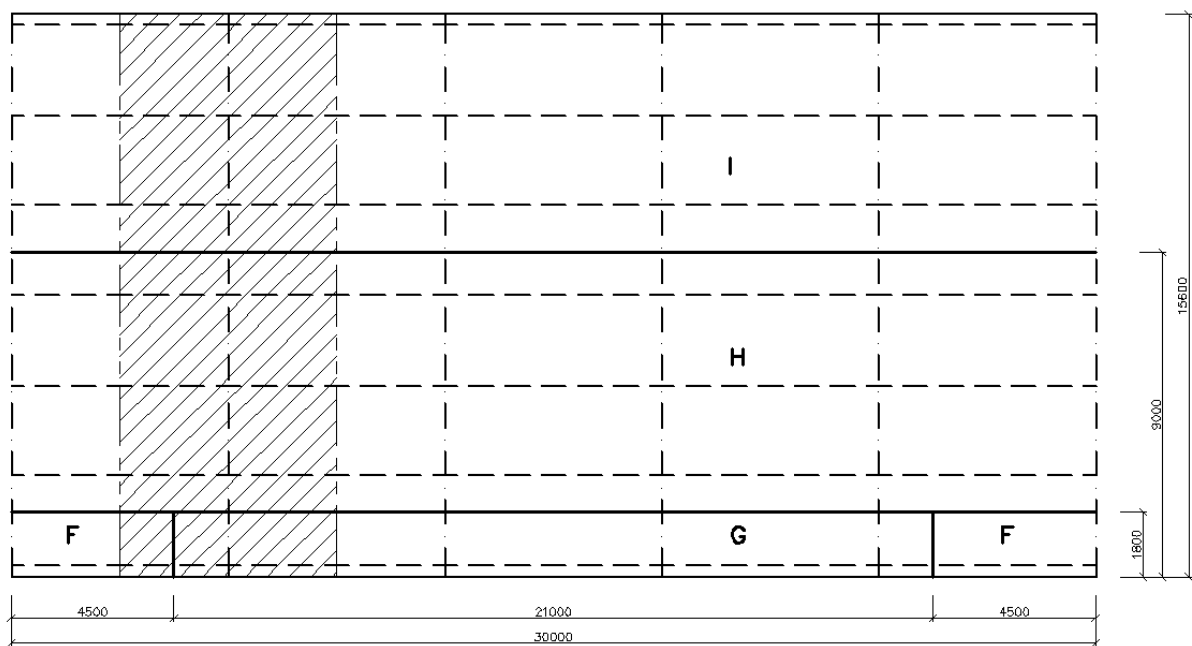
$$F_{1,k} = 1,55 \cdot 1,5 \cdot w_k^{F-} + 1,55 \cdot 4,5 \cdot w_k^{G-} = 1,55 \cdot 1,5 \cdot (-1,282) + 1,55 \cdot 4,5 \cdot (-0,898) = -9,24 \text{ kN}$$

$$F_{2,k} = 0,25 \cdot 1,5 \cdot w_k^{F-} + 0,25 \cdot 4,5 \cdot w_k^{G-} + 2,25 \cdot 5 \cdot w_k^{H-} = 0,25 \cdot 1,5 \cdot (-1,282) + 0,25 \cdot 4,5 \cdot (-0,898) + 2,25 \cdot 6 \cdot (-0,577) = -9,28 \text{ kN}$$

$$F_{3,k} = 2,5 \cdot 6 \cdot w_k^{H-} = 2,5 \cdot 6 \cdot (-0,577) = -8,66 \text{ kN}$$

$$F_{4,k} = 2,45 \cdot 6 \cdot w_k^{H-} + 0,05 \cdot 6 \cdot w_k^{I-} = 2,45 \cdot 6 \cdot (-0,577) + 0,05 \cdot 6 \cdot (-0,256) = -8,56 \text{ kN}$$

$$F_{5,6,7,k} = 2,5 \cdot 6 \cdot w_k^{I-} = 2,5 \cdot 6 \cdot (-0,256) = -3,84 \text{ kN}$$



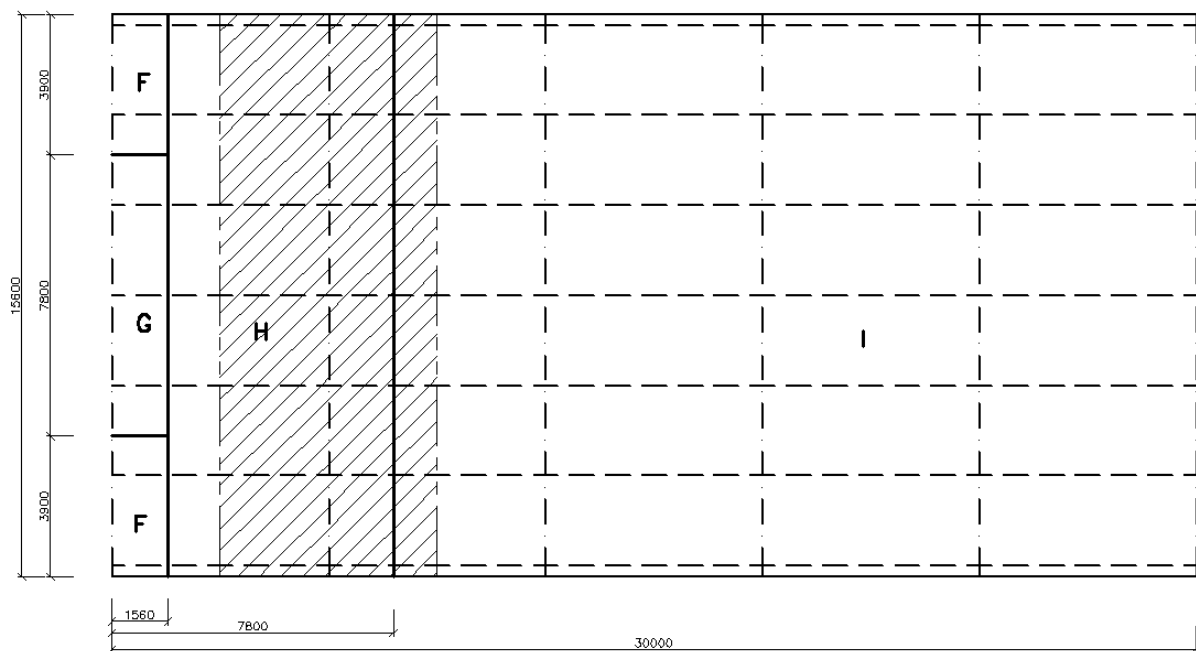
Obr. 4-40: Půdorys střechy, zatížení větrem příčným na rám

2. ZATÍŽENÍ VĚTREM – PODÉLNÝM 1

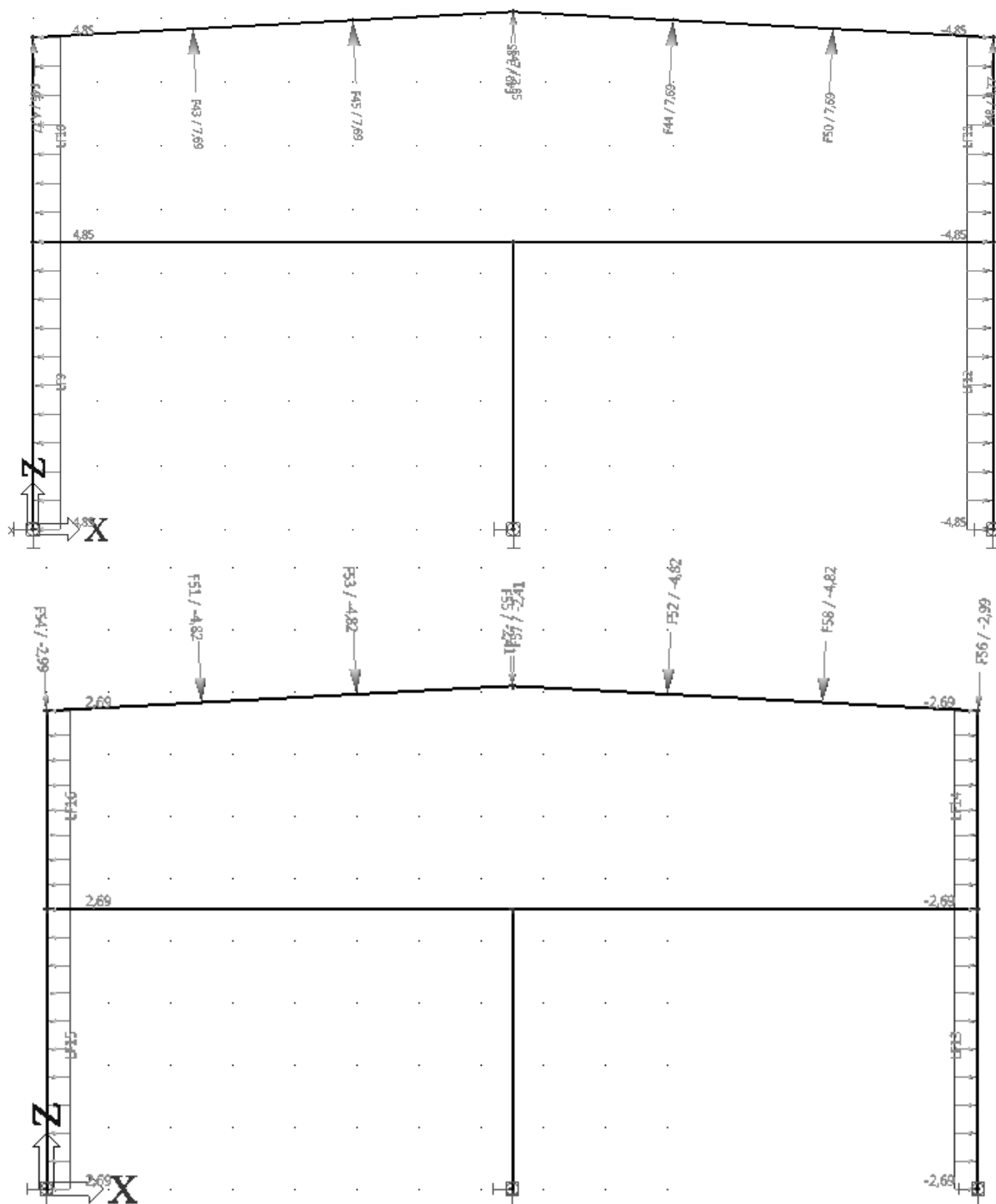
$$w_k^{A-B-} = 0,12 \cdot (-1,2 - 0,2) \cdot 0,641 + 5,88 \cdot (-0,8 - 0,2) \cdot 0,641 = -4,85 \text{ kN/m}$$

$$F_{1,7,k} = 4,8 \cdot 1,55 \cdot w_k^{H-} + 1,2 \cdot 1,55 \cdot w_k^{I-} = 4,8 \cdot 1,55 \cdot (-0,577) + 1,2 \cdot 1,55 \cdot (-0,256) = -4,77 \text{ kN}$$

$$F_{2,3,4,5,6,k} = 4,8 \cdot 2,5 \cdot w_k^{H-} + 1,2 \cdot 2,5 \cdot w_k^{I-} = 4,8 \cdot 2,5 \cdot (-0,577) + 1,2 \cdot 2,5 \cdot (-0,256) = -7,69 \text{ kN}$$



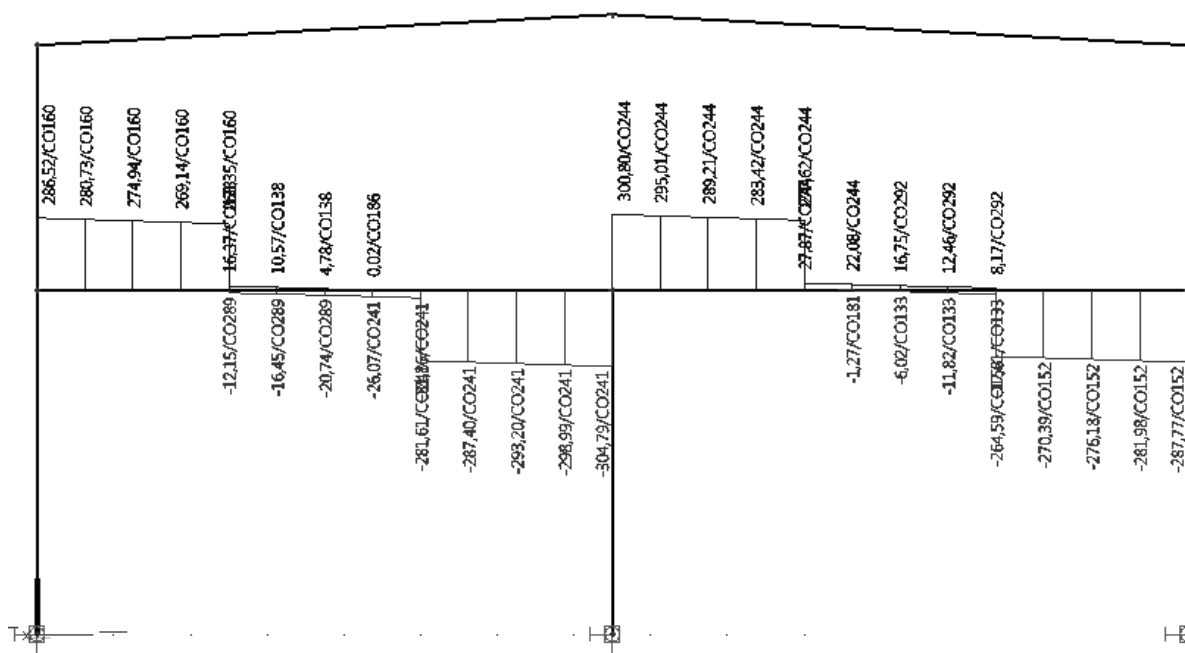
Obr. 4-41: Půdorys střechy, zatížení větrem podélným na rám



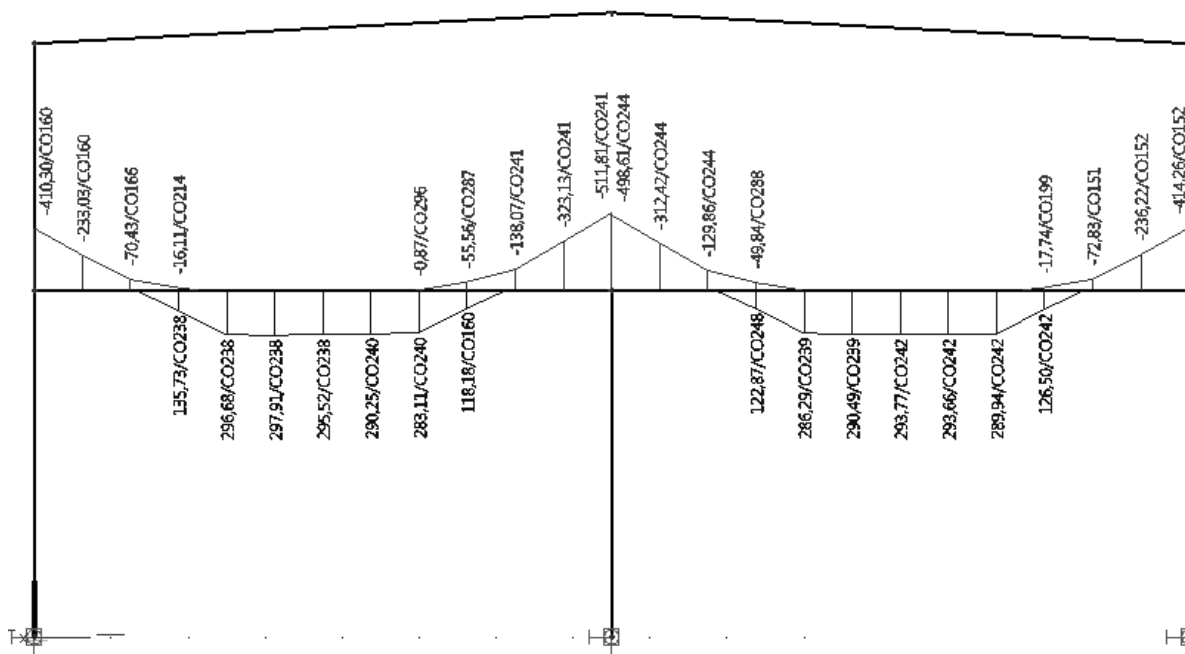
Obr. 4-43: ŽB rám, zatížení větrem

4.5.6 Kombinace zatěžovacích stavů bez vlivu poddolování, obalová křivka

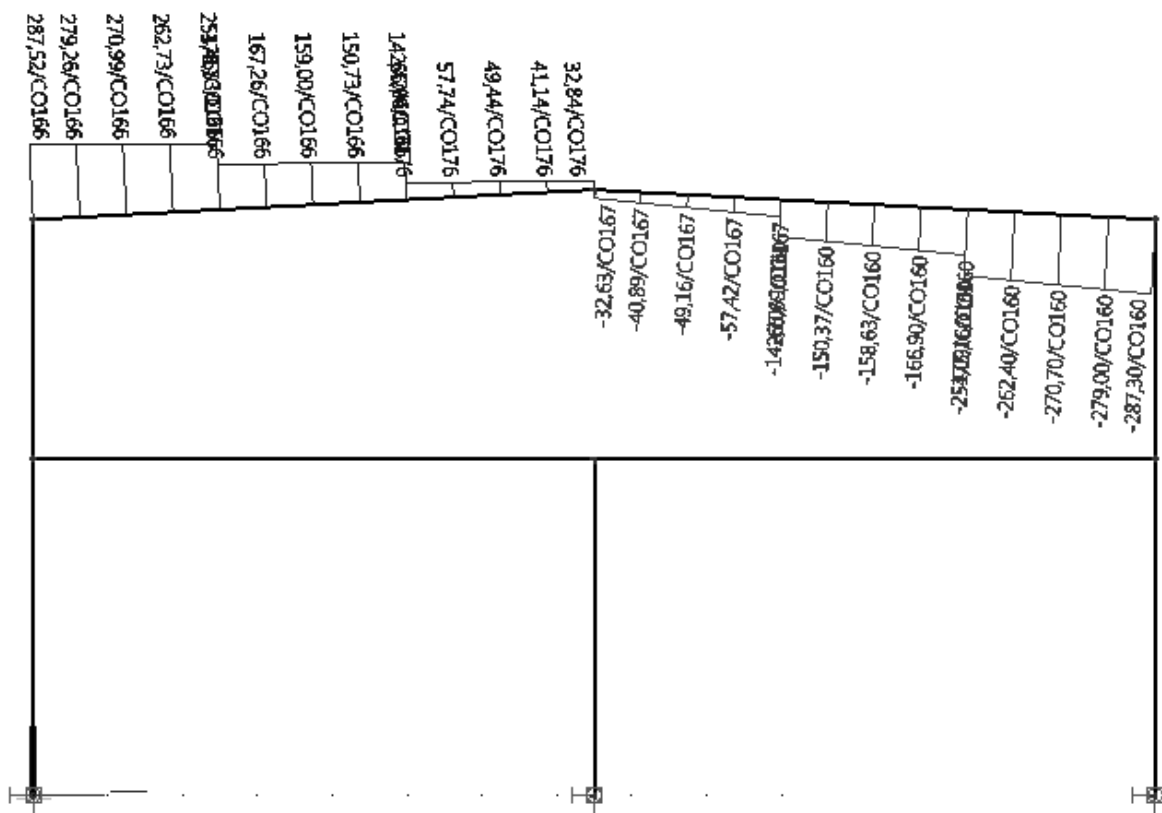
Kombinací jednotlivých zatěžovacích stavů v programu Scia Engineer 2012.0 za použití EN-MSÚ sady B při výpočtu rámu bez vlivu poddolování vzniká celkem 320 kombinací.



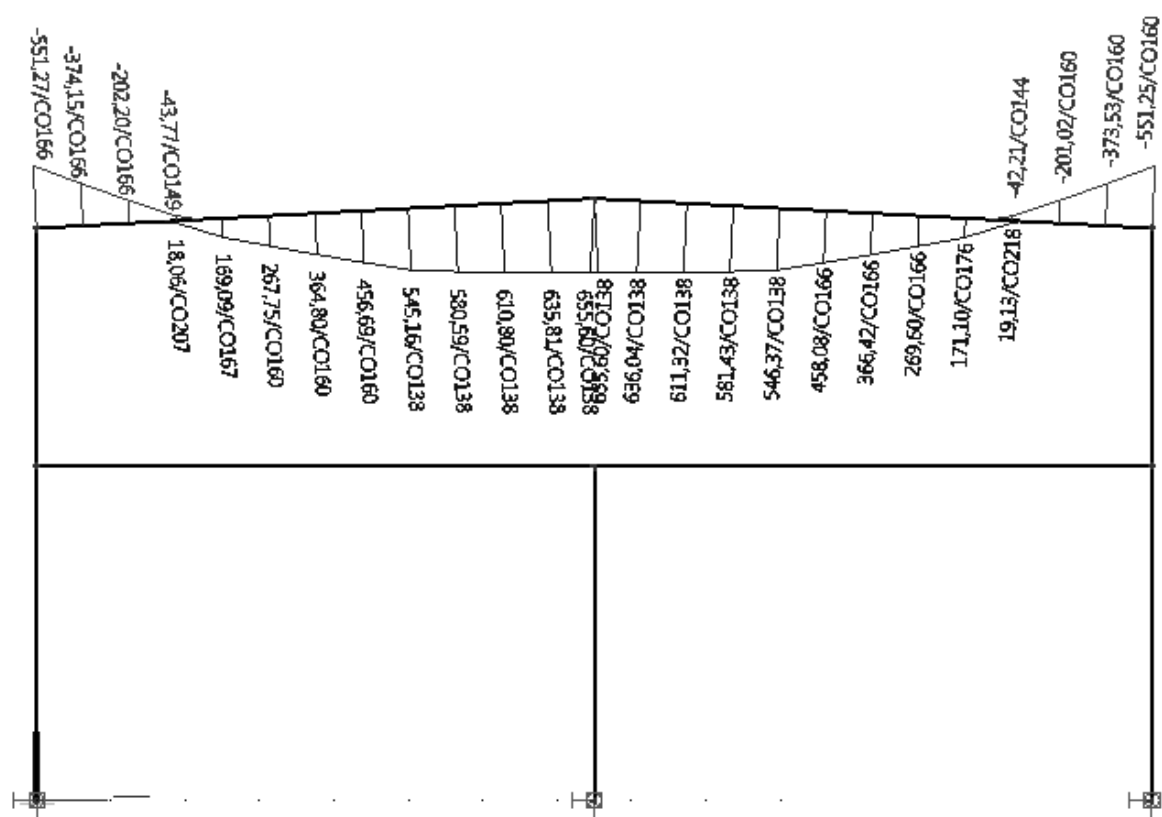
Obr. 4-44: ŽB rám bez vlivu poddolování-stropní průvlak, obalová křivka posouvajících sil



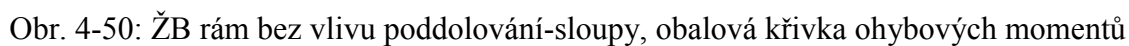
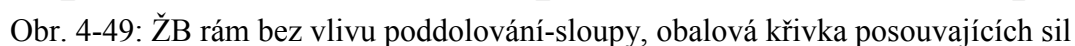
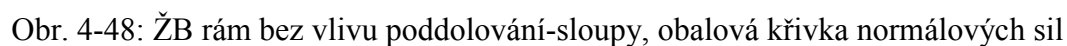
Obr. 4-45: ŽB rám bez vlivu poddolování-stropní průvlak, obalová křivka ohybových momentů



Obr. 4-46: ŽB rám bez vlivu poddolování-střešní průvlak, obalová křivka posouvajících sil



Obr. 4-47: ŽB rám bez vlivu poddolování-střešní průvlak, obalová křivka ohybových momentů



4.5.7 Zatížení seizmicitou

Zatížení seizmicitou je mimořádné zatížení a řídí se normou [8]. Zvolíme si, podle které metody budeme počítat, zdali metodou seizmických příčných sil nebo modální analýzou. Metoda seizmických příčných sil se používá pro jednodušší konstrukce, modální analýza pro složitější konstrukce. Vypočteme smykovou sílu celé budovy v základu F_b , kterou rozdělíme do jednotlivých podlaží. V této práci se seizmicitou nebude uvažovat.

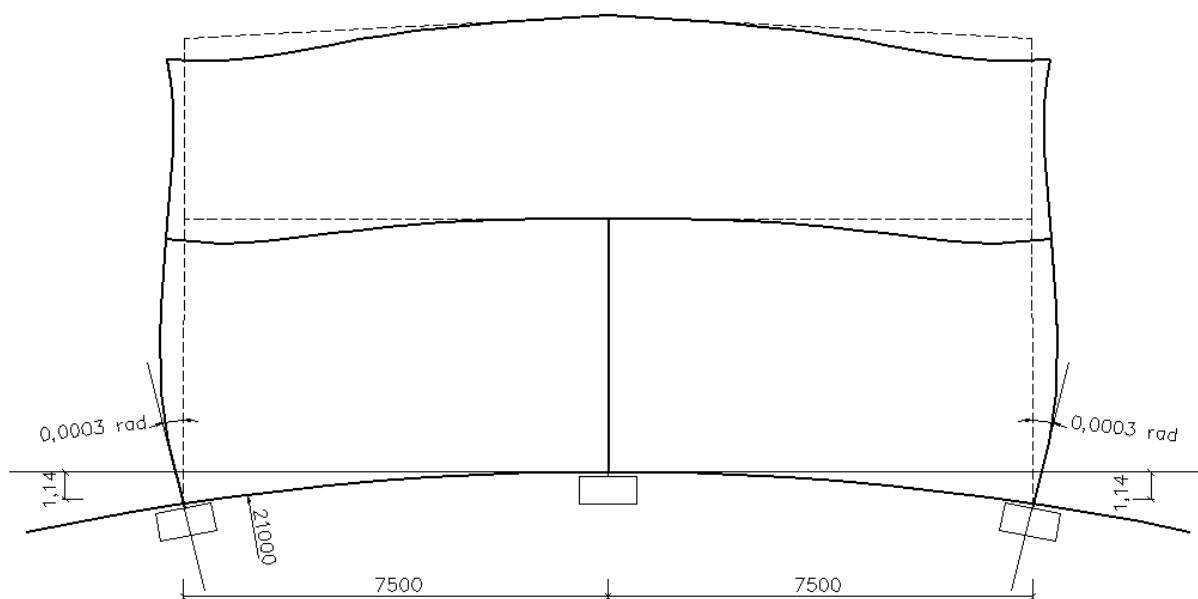
4.5.8 Zatížení poddolováním

Zatížení poddolováním se řídí normou [1]. Při zatížení poddolováním nastávají 3 zatěžovací stavy:

1. SVISLÝ POSUN ZAKŘIVENÍM TERÉNU

$$\Delta y_p = \mu_p \cdot \frac{x^2}{2 \cdot R} = 0,85 \cdot \frac{7,5^2}{2 \cdot 21000} = 0,00114 \text{ m} = 1,14 \text{ mm}$$

$$\Delta \varphi_p = \mu_p \cdot \frac{x}{R} = 0,85 \cdot \frac{7,5}{21000} = 0,0003 \text{ rad}$$



Obr. 4-51: ŽB rám, zatížení zakřivením terénu

2. SVISLÝ POSUN NAKLONĚNÍM TERÉNU

Při naklonění terénu se původně svislé zatížení stane i vodorovným. Vodorovná složka zatížení je docela malá a může se v některých případech zanedbat. Do úvahy se bere zatížení stálé a nahodilé dlouhodobé.

$$\Delta y_{i,1} = \mu_i \cdot i \cdot (x_2 - x_1) = 0,9 \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot (20 - 5) = 0,04725 = 47,25 \text{ mm}$$

$$\Delta y_{i,2} = \mu_i \cdot i \cdot (x_2 - x_1) = 0,9 \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot (12,5 - 5) = 0,023625 = 23,625 \text{ mm}$$

PRŮVLAK POD STROPEM:

$$H_k = \mu_i \cdot i \cdot V_k = 0,9 \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 7 = 0,022 \text{ kN/m}$$

$$H_k = \mu_i \cdot i \cdot V_k = 0,9 \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 60 = 0,189 \text{ kN}$$

$$H_k = \mu_i \cdot i \cdot V_k = 0,9 \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 41,25 = 0,130 \text{ kN}$$

PRŮVLAK POD STŘECHOU:

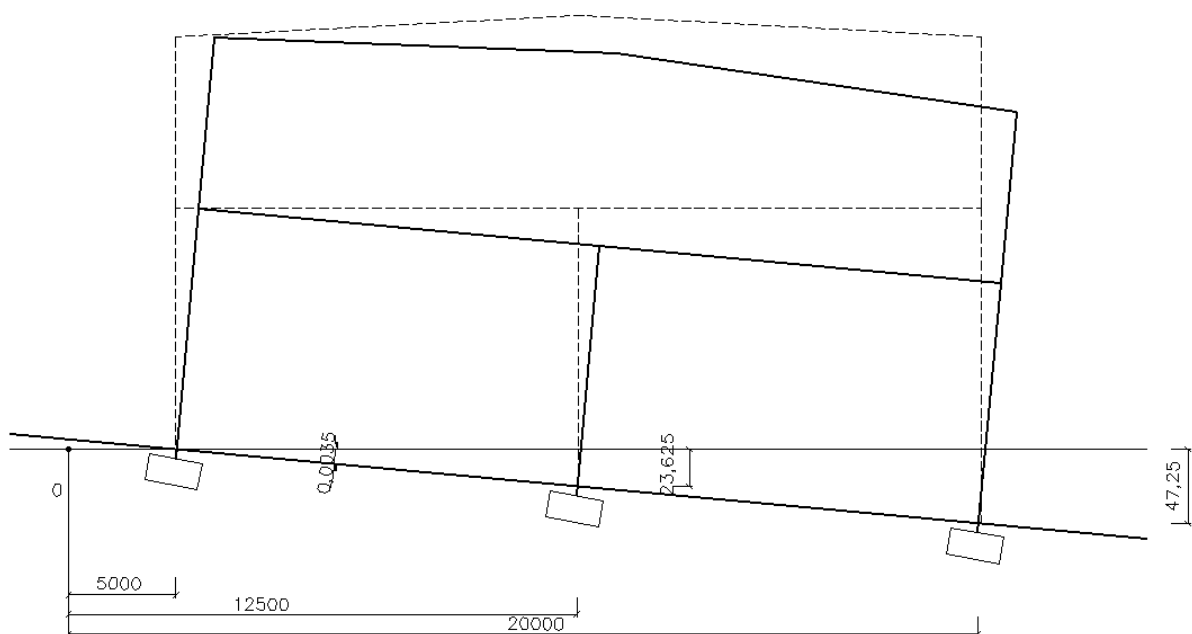
$$H_k = \mu_i \cdot i \cdot V_k = 0,9 \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 0,032 \text{ kN/m}$$

$$H_k = \mu_i \cdot i \cdot V_k = 0,9 \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 42 = 0,132 \text{ kN}$$

$$H_k = \mu_i \cdot i \cdot V_k = 0,9 \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 17 = 0,085 \text{ kN}$$

SLOUPY+ OBVODOVÝ PLÁŠŤ:

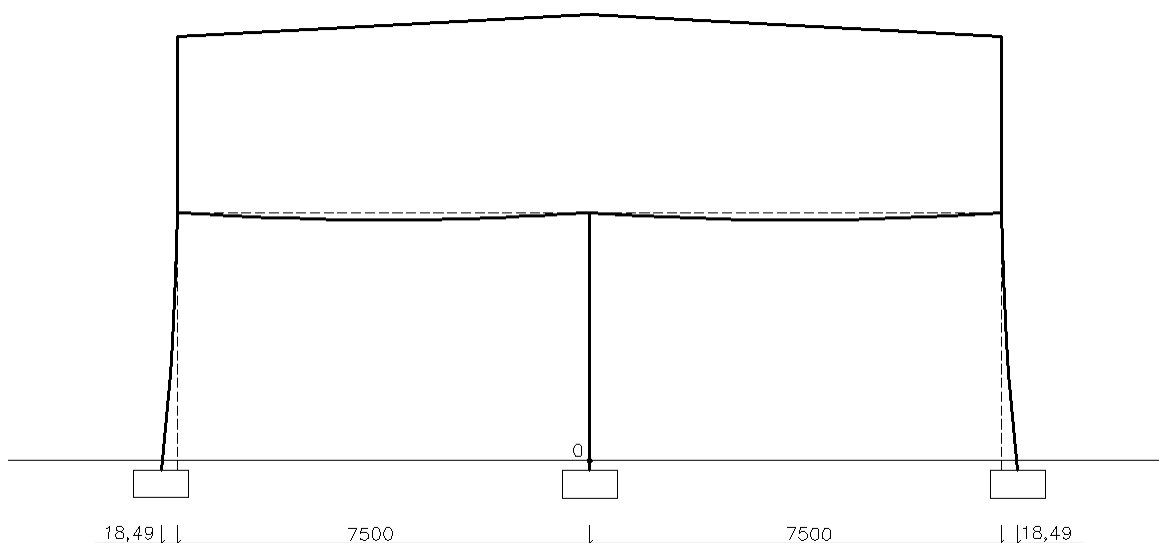
$$H_k = \mu_i \cdot i \cdot V_k = 0,9 \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot (6 + 0,8) = 0,021 \text{ kN/m}$$



Obr. 4-52: ŽB rám, zatížení poklesem terénu

3. VODOROVNÝ POSUV

$$\Delta x = \mu_{\varepsilon} \cdot \varepsilon \cdot x = 0,85 \cdot 2,9 \cdot 10^{-3} \cdot 7,5 = 0,01849 \text{ m} = 18,49 \text{ mm}$$



Obr. 4-53: ŽB rám, zatížení vodorovným posunem

Tyto zatěžovací stavy byly pozměněny na zatěžovací stavy podle kapitoly 2.4.4 a vztahů 2.16, 2.17 a 2.18. V programu Scia Engineer 2012.0 byla konstrukce namodelována několika způsoby:

A) DEFORMACE ZADÁNY POSUNEM PODPORY

Podpora je přímo posunutá o hodnotu svislého posunu zakřivením terénu a vodorovného posuvu. Podpory zůstávají jako vetknutí.

1. Poddolování 1

$$\Delta x = \mu_{\varepsilon} \cdot \varepsilon \cdot x = 0,85 \cdot 2,9 \cdot 10^{-3} \cdot 7,5 = 0,01849 \text{ m} = 18,49 \text{ mm}$$

$$0,9 \cdot \Delta y_{\rho} = 0,9 \cdot \mu_{\rho} \cdot \frac{x^2}{2 \cdot R} = 0,9 \cdot 0,85 \cdot \frac{7,5^2}{2 \cdot 21000} = 0,9 \cdot 1,14 = 1,026 \text{ mm}$$

$$0,6 \cdot H_k$$

2. Poddolování 2

$$\Delta y_{\rho} = \mu_{\rho} \cdot \frac{x^2}{2 \cdot R} = 0,85 \cdot \frac{7,5^2}{2 \cdot 21000} = 1,14 \text{ mm}$$

$$0,9 \cdot \Delta x = 0,9 \cdot \mu_{\varepsilon} \cdot \varepsilon \cdot x = 0,9 \cdot 0,85 \cdot 2,9 \cdot 10^{-3} \cdot 7,5 = 16,64 \text{ mm}$$

$$0,6 \cdot H_k$$

3. Poddolování 3

$$H_k$$

$$0,6 \cdot \Delta y_p = 0,6 \cdot \mu_p \cdot \frac{x^2}{2 \cdot R} = 0,6 \cdot 0,85 \cdot \frac{7,5^2}{2 \cdot 21000} = 0,68 \text{ mm}$$

$$0,6 \cdot \Delta x = 0,9 \cdot \mu_\varepsilon \cdot \varepsilon \cdot x = 0,6 \cdot 0,85 \cdot 2,9 \cdot 10^{-3} \cdot 7,5 = 11,09 \text{ mm}$$

B) DEFORMACE ZADÁNY POSUNEM PODPORY+SOILIN

Hodnoty deformací jsou stejné jako v předcházejícím bodě. Nejprve je konstrukce namodelována jako vetknutí středního sloupu a krajní sloupy jsou podepřeny podporou Soilin [17], potom jsou krajní sloupy vetknuté s vypočtenou deformací a střední sloup podepřen podporou Soilin [17].

C) DEFORMACE ZADÁNY JAKO ZMĚNA TEPLoty

Podpora je typu Soilin [17], takže nastává interakce mezi podloží a nadzákladovou konstrukcí. Jednotlivé deformace se počítají ze vztahu:

$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta T \rightarrow \Delta T = \frac{\Delta l}{\alpha \cdot l} \quad (4.1)$$

1. Poddolování 1

$$\Delta T(\Delta x) = \frac{\Delta l}{\alpha \cdot l} = \frac{18,49}{10 \cdot 10^{-6} \cdot 7500} = 246,533 \text{ K}$$

$$0,9 \cdot \Delta T(y_p) = 0,9 \cdot \frac{\Delta l}{\alpha \cdot l} = 0,9 \cdot \frac{1,14}{10 \cdot 10^{-6} \cdot 7700} = 13,32 \text{ K}$$

$$0,6 \cdot H_k$$

2. Poddolování 2

$$\Delta T(y_p) = \frac{\Delta l}{\alpha \cdot l} = \frac{1,14}{10 \cdot 10^{-6} \cdot 7500} = 15,2 \text{ K}$$

$$0,9 \cdot \Delta T(\Delta x) = 0,9 \cdot \frac{\Delta l}{\alpha \cdot l} = 0,9 \cdot \frac{18,49}{10 \cdot 10^{-6} \cdot 7700} = 216,12 \text{ K}$$

$$0,6 \cdot H_k$$

3. Poddolování 3

$$H_k$$

$$0,6 \cdot \Delta T(y_p) = 0,6 \cdot \frac{\Delta l}{\alpha \cdot l} = 0,6 \cdot \frac{1,14}{10 \cdot 10^{-6} \cdot 7700} = 8,88 \text{ K}$$

$$0,6 \cdot \Delta T(\Delta x) = 0,6 \cdot \frac{\Delta l}{\alpha \cdot l} = 0,6 \cdot \frac{18,49}{10 \cdot 10^{-6} \cdot 7500} = 147,92 \text{ K}$$

D) DEFORMACE ZADÁNY JAKO SÍLY

Jedná se o náhradní řešení, protože software nepracoval podle předpokladů. Hodnoty deformací jsou vypočteny jako síly, způsobující námi potřebnou deformaci. Nejprve musíme stanovit sedání základů a ze sedání stanovíme Winklerovu konstantu C_1 . Velikost napětí σ_{ds} je bráno z kapitoly 5.8 při dimenzování patky. Podpory budou modelovány jako pružné s hodnotou této konstanty a deformace stanoveny podle vztahu:

$$F = C_1 \cdot x \quad (4.2)$$

Vztahy pro stanovení sedání objektu:

$$\sigma_{ds} = \frac{F_{ds}}{A_{eff}} \quad (4.3)$$

$$\sigma_{ol} = \sigma_{ds} - \sigma_{or} \quad (4.4)$$

$$\sigma_{or} = \gamma \cdot h \quad (4.5)$$

$$I_R = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\arctg \left(\frac{l \cdot b}{z \cdot C} \right) + \frac{l \cdot b \cdot z}{C} \cdot \left(\frac{1}{A^2} + \frac{1}{B^2} \right) \right) \quad (4.6)$$

$$A = \sqrt{l^2 + z^2} \quad (4.7)$$

$$B = \sqrt{b^2 + z^2} \quad (4.8)$$

$$C = \sqrt{l^2 + b^2 + z^2} \quad (4.9)$$

$$\sigma_z = I_R \cdot \sigma_{ol} \quad (4.10)$$

$$\beta = 1 - \frac{2 \cdot \nu^2}{1 - \nu} \quad (4.11)$$

$$E_{def} = \beta \cdot E_{oed} \rightarrow E_{oed} = \frac{E_{def}}{\beta} \quad (4.12)$$

$$s = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{z,i} - m \cdot \sigma_{or,i}}{E_{oed,i}} \quad (4.13)$$

$$\sigma_{Ed} = \sigma_{ds} = \frac{F_{ds}}{A_{eff}} = \frac{837,46}{(2,4 - 0,175) \cdot 2,2} = 171,08 \text{ m}^2$$

MG (F1)	bod	h	z	β	E _{def}	E _{oed}	γ	$\sigma_{or,i}$	m
		[m]	[m]		[MPa]	[MPa]	[kN/m ³]	[kPa]	
	1	0,3	0,15	0,623	15	24,074	19	18,05	0,2
	2	0,3	0,45	0,623	15	24,074	19	23,75	0,2
	3	0,3	0,75	0,623	15	24,074	19	29,45	0,2
	4	0,3	1,05	0,623	15	24,074	19	35,15	0,2
	5	0,3	1,35	0,623	15	24,074	19	40,85	0,2
	6	0,3	1,65	0,623	15	24,074	19	46,55	0,2
	7	0,3	1,95	0,623	15	24,074	19	52,25	0,2
	8	0,3	2,25	0,623	15	24,074	19	57,95	0,2
	9	0,3	2,55	0,623	15	24,074	19	63,65	0,2
	10	0,3	2,85	0,623	15	24,074	19	69,35	0,2
	11	0,3	3,15	0,623	15	24,074	19	75,05	0,2
	12	0,3	3,45	0,623	15	24,074	19	80,75	0,2
	13	0,3	3,75	0,623	15	24,074	19	86,45	0,2
	14	0,3	4,05	0,623	15	24,074	19	92,15	0,2
	15	0,3	4,35	0,623	15	24,074	19	97,85	0,2

MG (F1)	bod	A	B	C	I _{R,i}	σ_{ol}	$\sigma_{z,i}$	$\sigma_{z,i} - m \cdot \sigma_{or,i}$	Δs_i
						[kPa]	[kPa]	[kPa]	[mm]
	1	1,209	1,110	1,635	4 · 0,250	153,03	152,78	149,17	1,86
	2	1,282	1,188	1,689	4 · 0,241	147,33	141,77	137,02	1,71
	3	1,415	1,331	1,792	4 · 0,217	141,63	122,97	117,08	1,46
	4	1,595	1,521	1,937	4 · 0,186	135,93	100,94	93,91	1,17
	5	1,806	1,741	2,115	4 · 0,154	130,23	80,36	72,19	0,90
	6	2,040	1,983	2,318	4 · 0,127	124,53	63,19	53,88	0,67
	7	2,290	2,239	2,540	4 · 0,104	118,83	49,62	39,17	0,49
	8	2,550	2,504	2,777	4 · 0,086	113,13	39,12	27,53	0,34
	9	2,818	2,777	3,025	4 · 0,072	107,43	31,04	18,31	0,23
	10	3,092	3,055	3,282	4 · 0,061	101,73	24,80	10,93	0,14
	11	3,371	3,337	3,546	4 · 0,052	96,03	19,94	4,93	0,06
	12	3,653	3,621	3,815	4 · 0,045	90,33	16,13	-0,02	0,00
	13	3,937	3,908	4,088	4 · 0,039	84,63	13,11	-4,18	-0,05
	14	4,224	4,197	4,365	4 · 0,034	78,93	10,69	-7,74	-0,10
	15	4,512	4,487	4,645	4 · 0,030	73,23	8,74	-10,83	-0,14

Tab. 4-1: Sedání pod středem základu

Hodnota sedání Δs_i se při výpočtu sedání uvažuje pouze s kladným znaménkem.

$$s = 9,02 \text{ mm}$$

$$C_1 = \frac{\sigma}{s} = \frac{171,08 \cdot 10^3}{9,02 \cdot 10^{-3}} = 18,96 \text{ MN/m}^3$$

1. Poddolování 1

$$F(\Delta x) = C_1 \cdot x = 18,96 \cdot 18,64 = 353,41 \text{ kN}$$

$$0,9 \cdot F(y_\rho) = 0,9 \cdot C_1 \cdot x = 0,9 \cdot 18,96 \cdot 1,14 = 19,45 \text{ kN}$$

$$0,6 \cdot H_k$$

2. Poddolování 2

$$F(y_\rho) = C_1 \cdot x = 18,96 \cdot 1,14 = 21,25 \text{ kN}$$

$$0,9 \cdot F(\Delta x) = 0,9 \cdot C_1 \cdot x = 0,9 \cdot 18,96 \cdot 18,64 = 318,07 \text{ kN}$$

$$0,6 \cdot H_k$$

3. Poddolování 3

$$H_k$$

$$0,6 \cdot F(y_\rho) = 0,6 \cdot C_1 \cdot x = 0,6 \cdot 18,96 \cdot 1,14 = 12,97 \text{ kN}$$

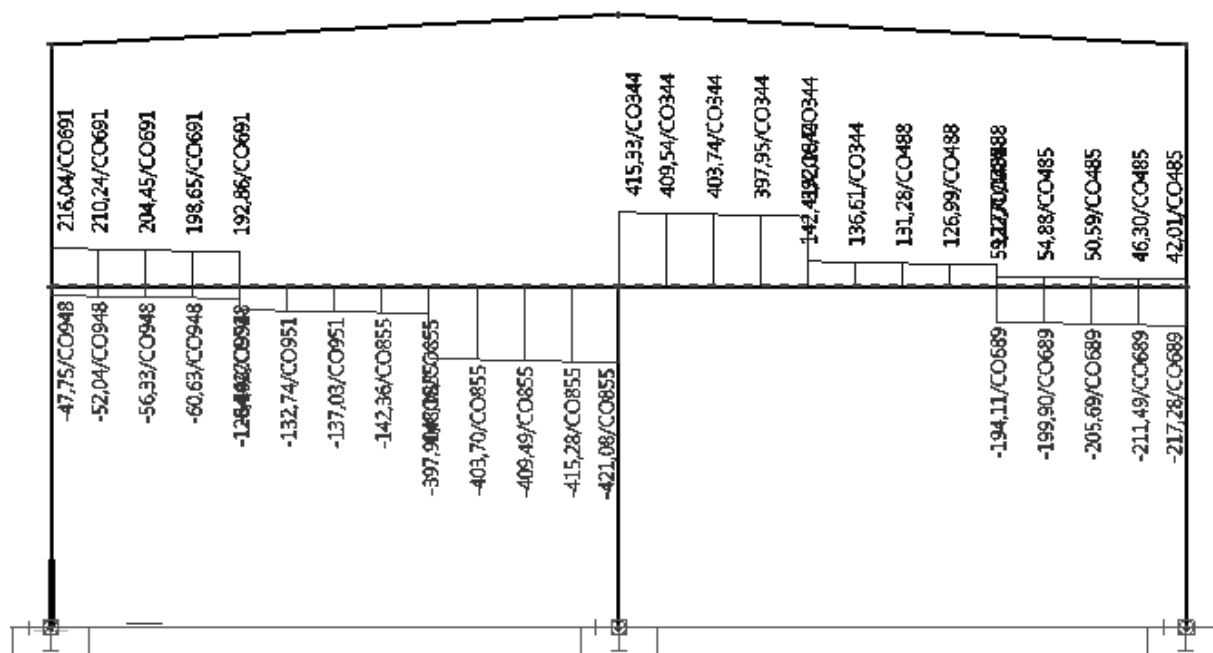
$$0,6 \cdot F(\Delta x) = 0,6 \cdot C_1 \cdot x = 0,6 \cdot 18,96 \cdot 18,64 = 212,05 \text{ kN}$$

4.5.9 Kombinace zatěžovacích stavů s vlivem poddolování, obalová křivka

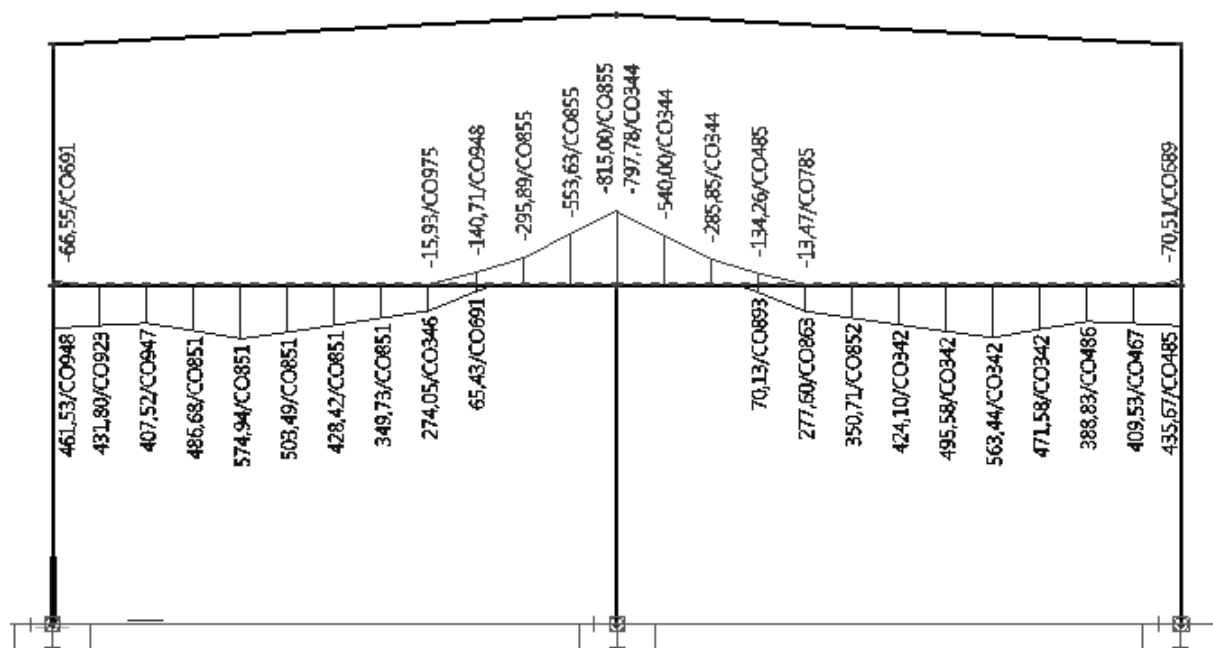
Kombinací jednotlivých zatěžovacích stavů v programu Scia Engineer 2012.0 za použití EN-MSÚ sady B při výpočtu rámu s vlivem poddolování vzniká celkem 695 kombinací. Kombinujeme zatěžovací stavy jen v kladném smyslu podle kapitoly 2.4.4. V praxi bychom měli řešit i druhý případ a to že by hodnoty měly smysl záporný, viz kapitola 2.4.4.

A) DEFORMACE ZADÁNY POSUNEM PODPORY

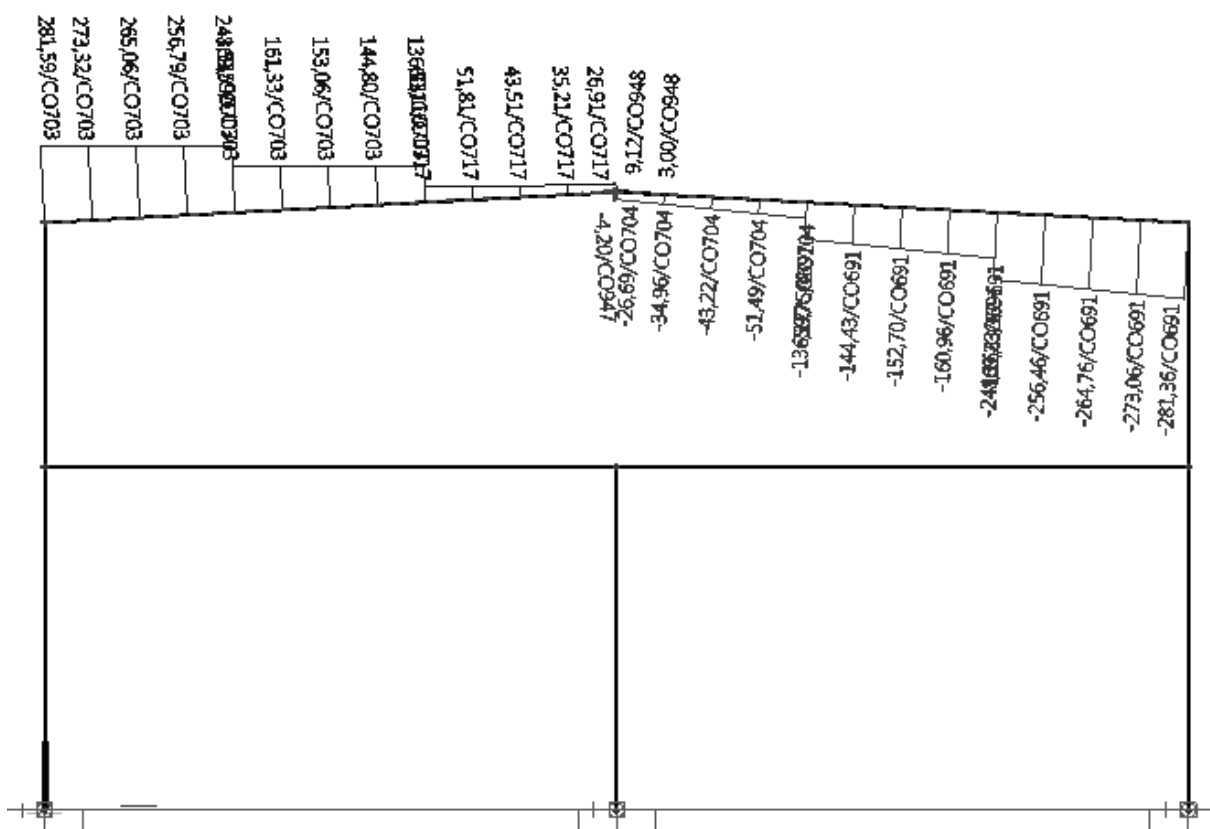
Nedokonalost modelu spočívá v tom, že udělíme podporám vypočtenou deformaci. Podpory jsou vetknuté a tím pádem zde nenastává interakční působení mezi podloží, základem a nadzákladovou konstrukcí. Konstrukce se také nezatlačuje do podloží, což neodpovídá předpokladu, že se podloží chová pružně.



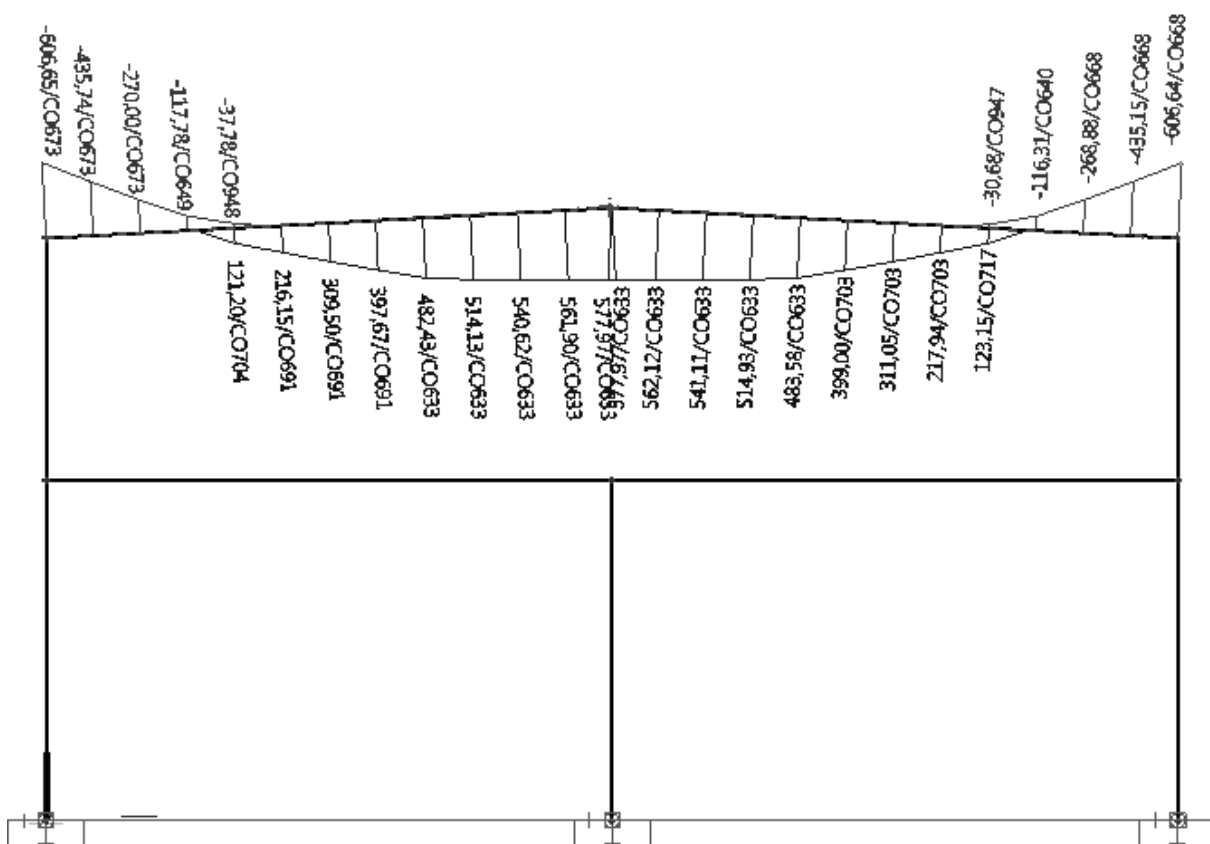
Obr. 4-54: ŽB rám s vlivem poddolování-stropní průvlak, obalová křivka posouvajících sil



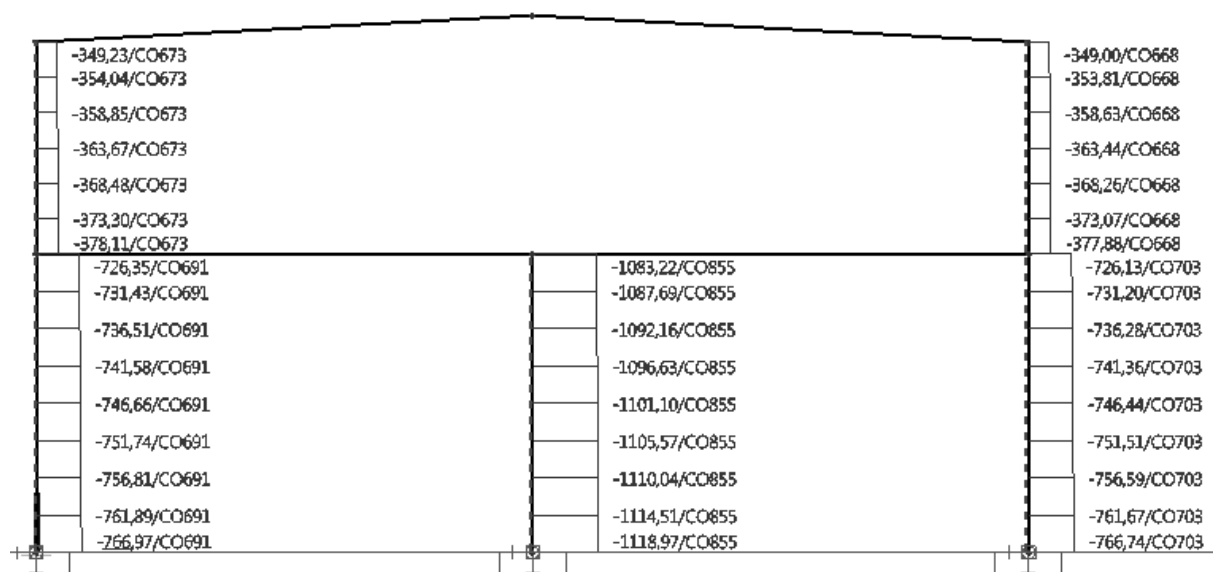
Obr. 4-55: ŽB rám s vlivem poddolování-stropní průvlak, obalová křivka ohybových momentů



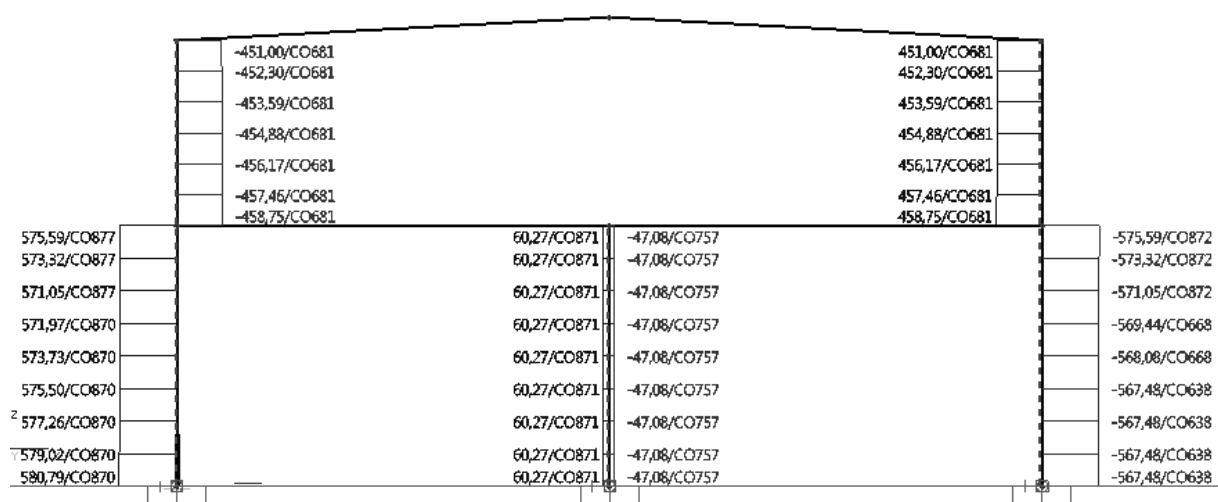
Obr. 4-56: ŽB rám s vlivem poddolování-střešní průvlak, obalová křivka posouvajících sil



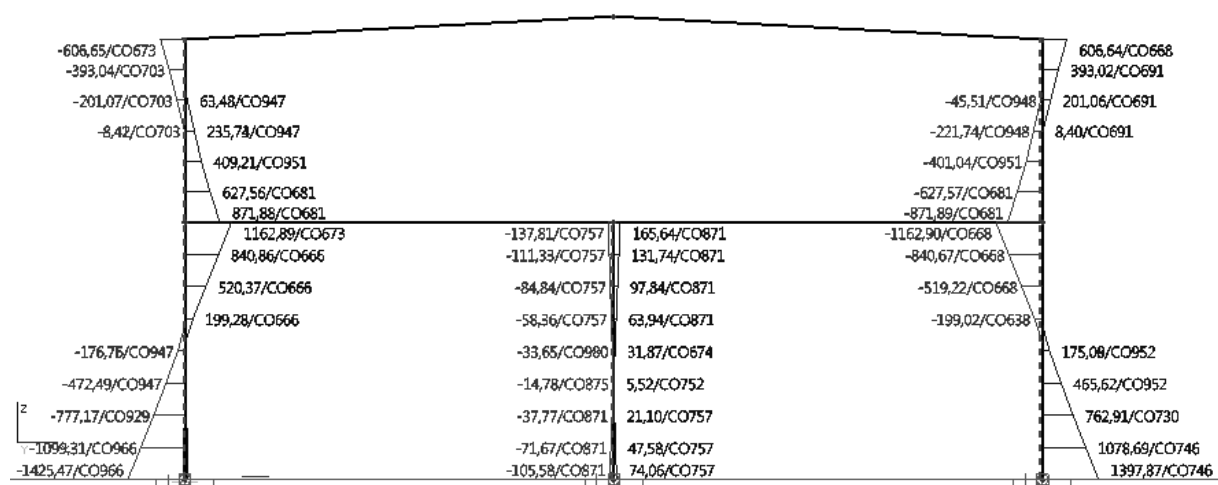
Obr. 4-57: ŽB rám s vlivem poddolování-střešní průvlak, obalová křivka ohybových momentů



Obr. 4-58: ŽB rám s vlivem poddolování-sloupy, obalová křivka normálových sil



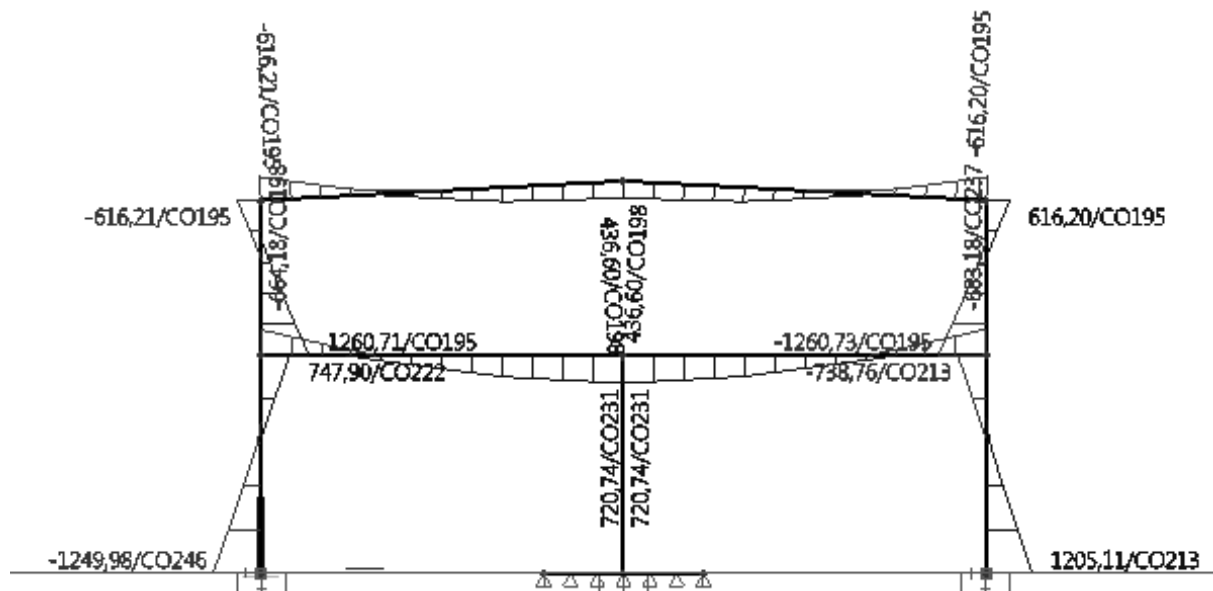
Obr. 4-59: ŽB rám s vlivem poddolování-sloupy, obalová křivka posouvajících sil



Obr. 4-60: ŽB rám s vlivem poddolování-sloupy, obalová křivka ohybových momentů

B) DEFORMACE ZADÁNY POSUNEM PODPORY+SOILIN

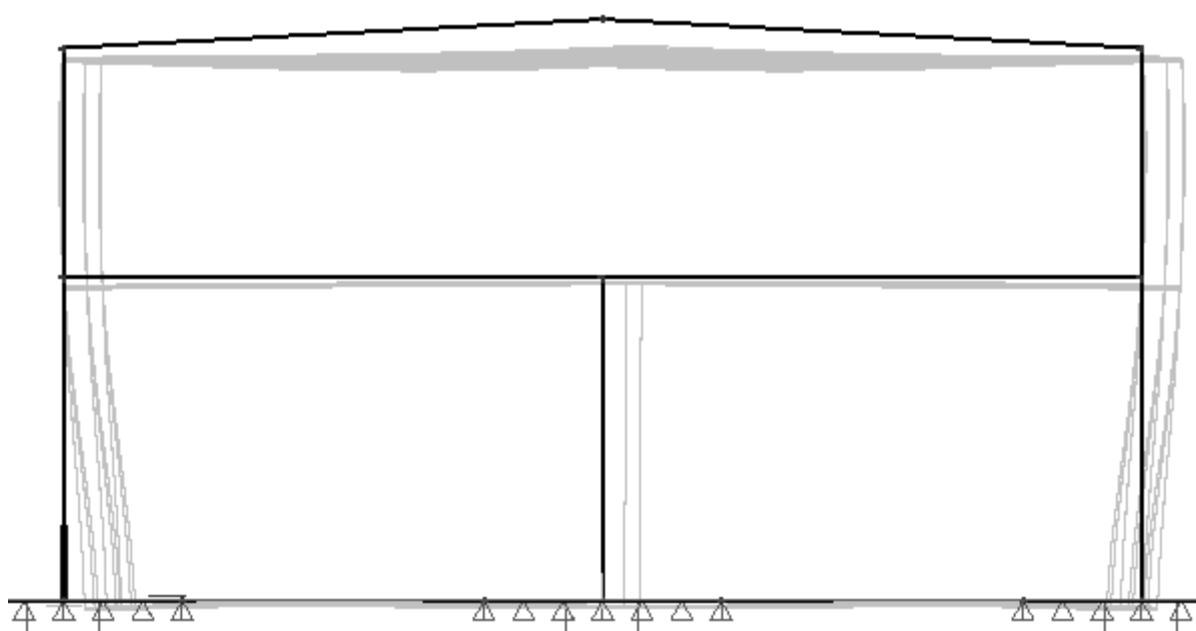
Kombinace podpor také není správné řešení. Pro příklad je uvedena obalová křivka ohybových momentů, která se nechová podle předpokladu – viz ohybový moment nad středním sloupem.



Obr. 4-61: ŽB rám s vlivem poddolování, obalová křivka ohybových momentů

C) DEFORMACE ZADÁNY JAKO ZMĚNA TEPLOTY

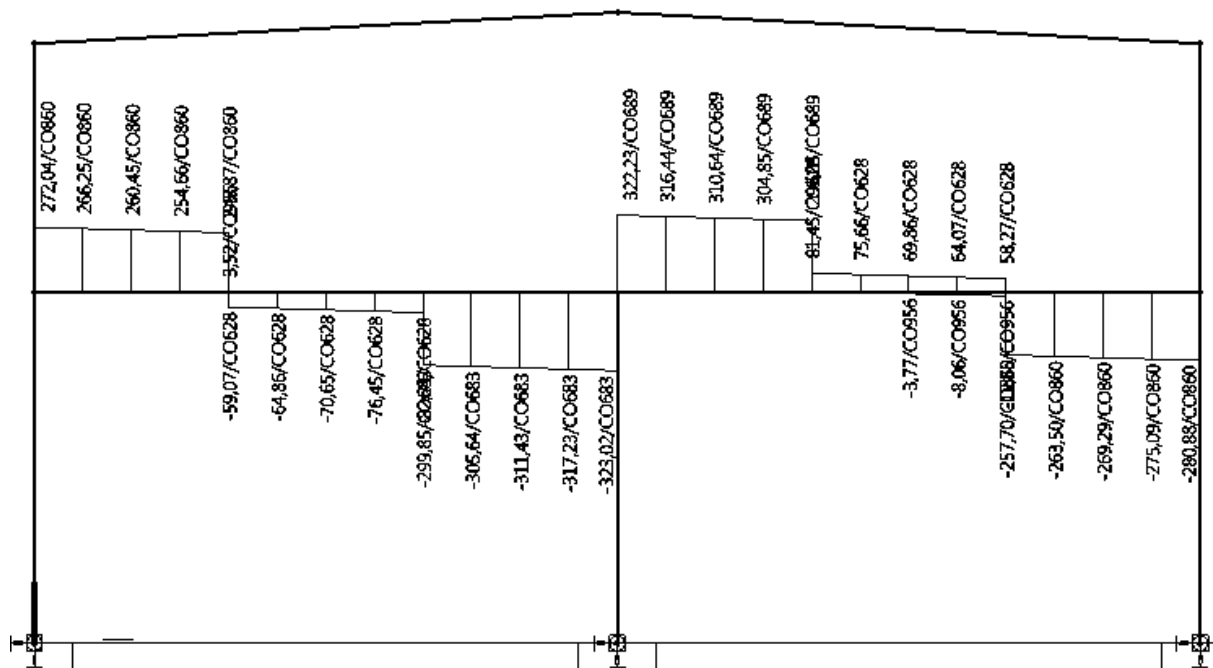
Tento model je nepoužitelný z důvodu nadzvedávání objektu. Teplota měla zatlačovat objekt a tím způsobovat požadované deformace, ale přetváří konstrukci jinak, než bychom potřebovali.



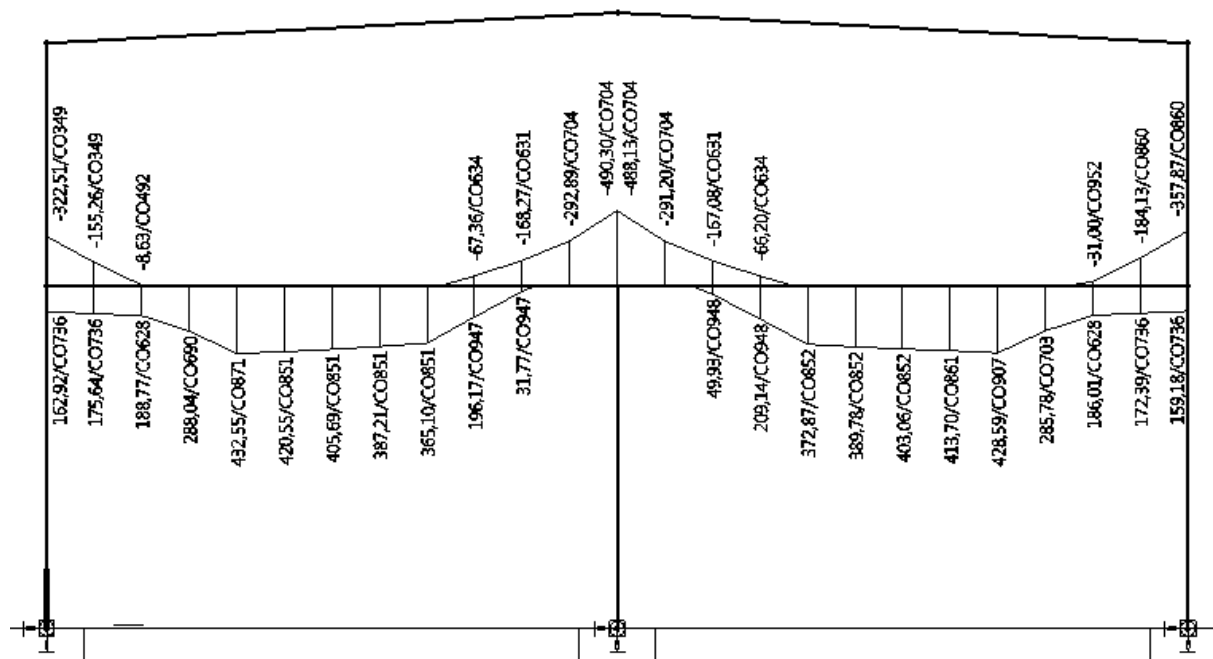
Obr. 4-62: ŽB rám s vlivem poddolování, deformace konstrukce vlivem teploty

D) DEFORMACE ZADÁNY JAKO SÍLY

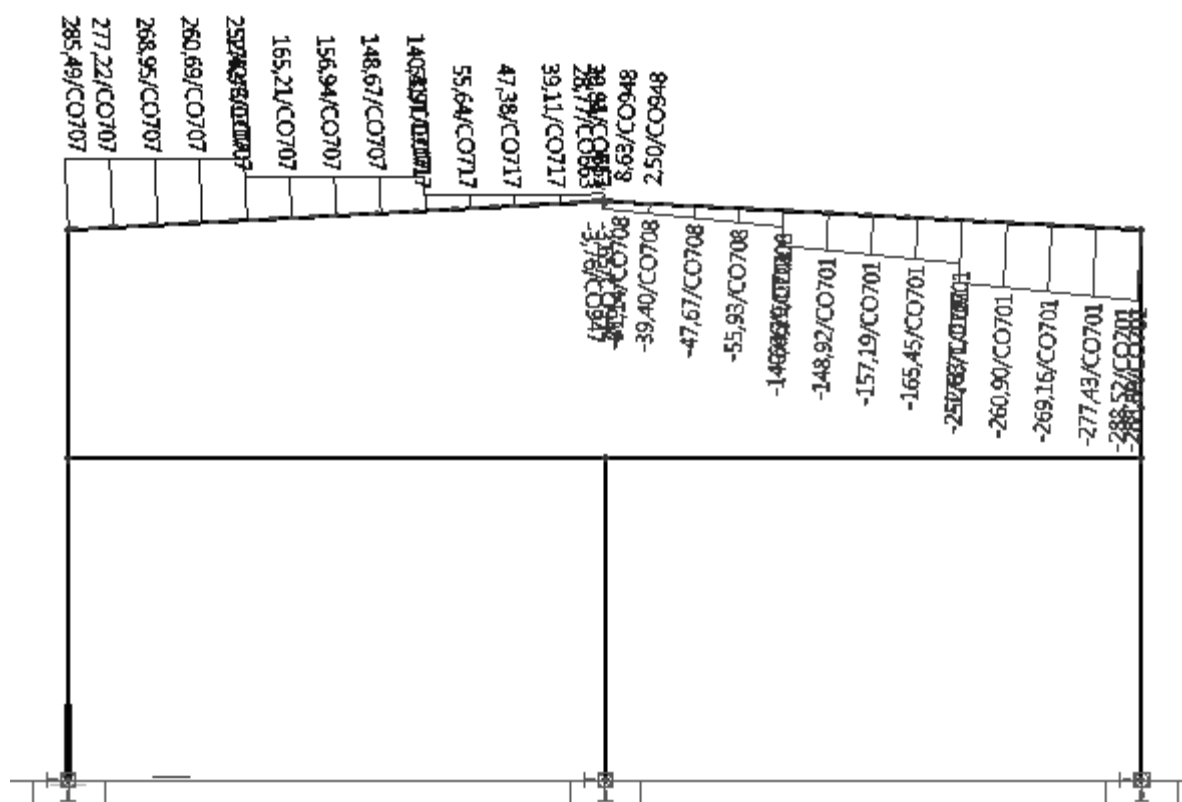
Tento model je nejspřávnější z těchto vytvořených modelů a to z důvodu interakce zeminy, základů a nadzákladové konstrukce. Tuhost pružiny byla vypočtena v kapitole 4.5.8 a rovná se Winklerově konstantě C_1 . Velikosti sil zatěžujících konstrukci také nalezneme v kapitole 4.5.8.



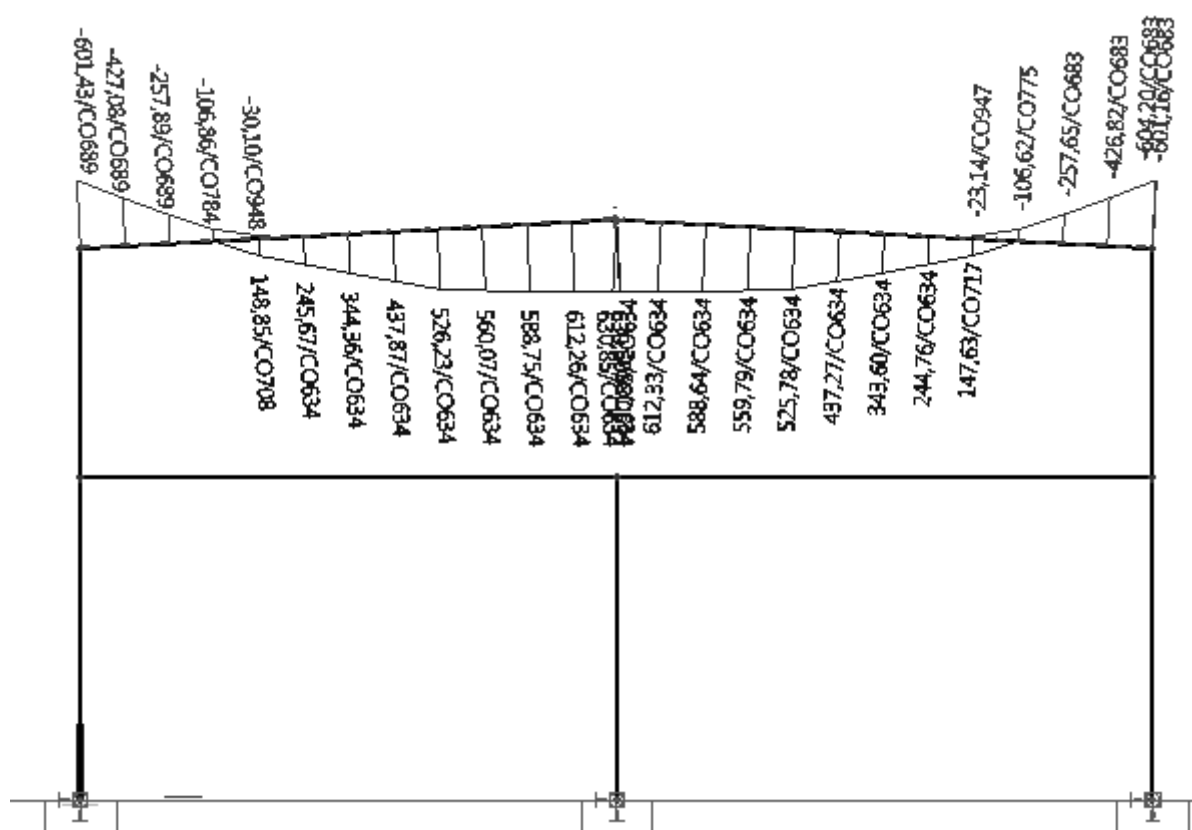
Obr. 4-63: ŽB rám s vlivem poddolování-stropní průvlak, obalová křivka posouvajících sil



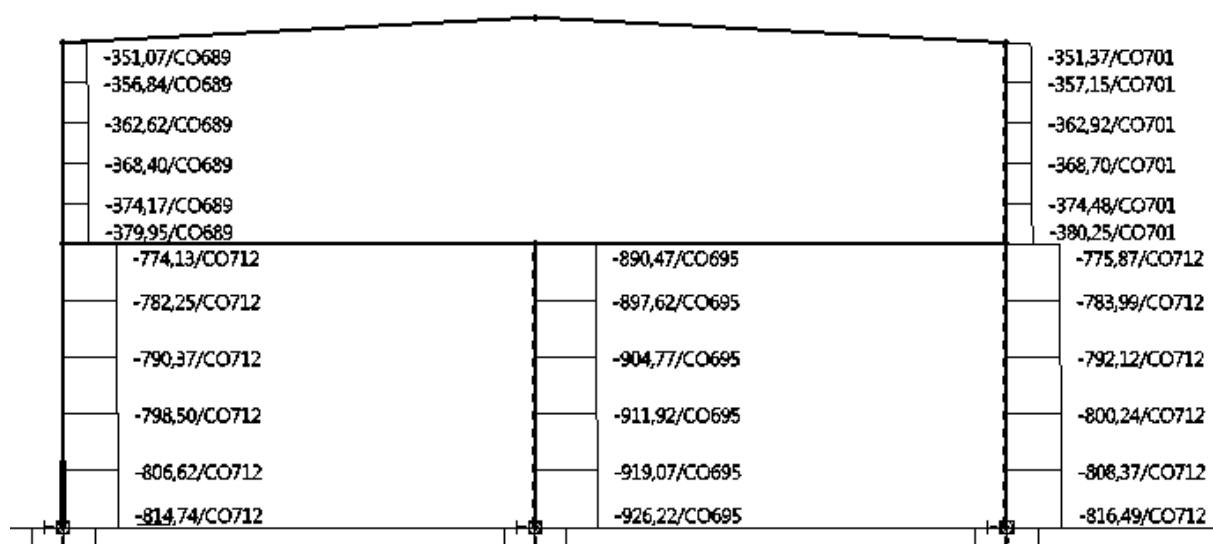
Obr. 4-64: ŽB rám s vlivem poddolování-stropní průvlak, obalová křivka ohybových momentů



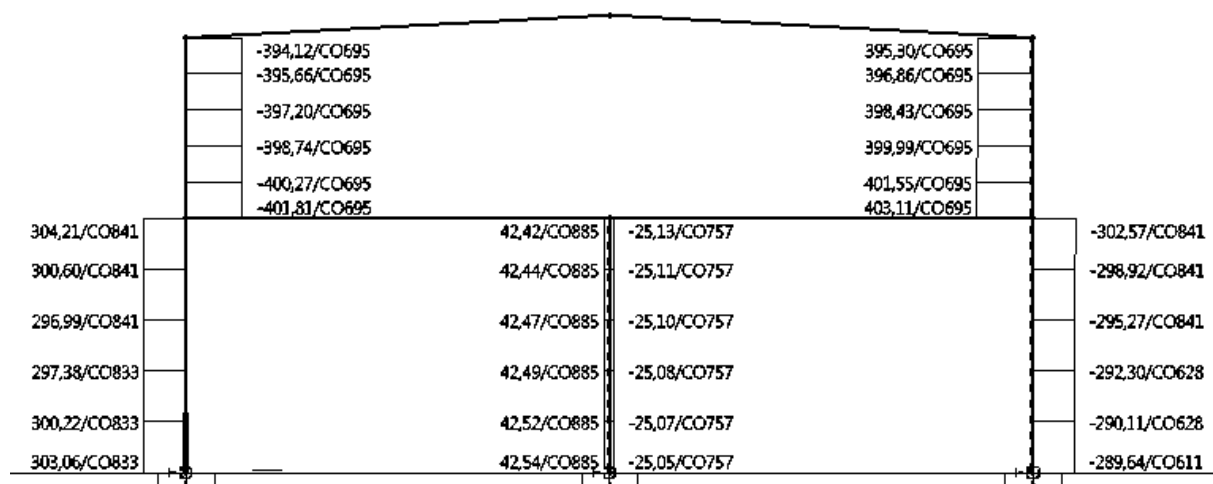
Obr. 4-65: ŽB rám s vlivem poddolování-střešní průvlak, obalová křivka posouvajících sil



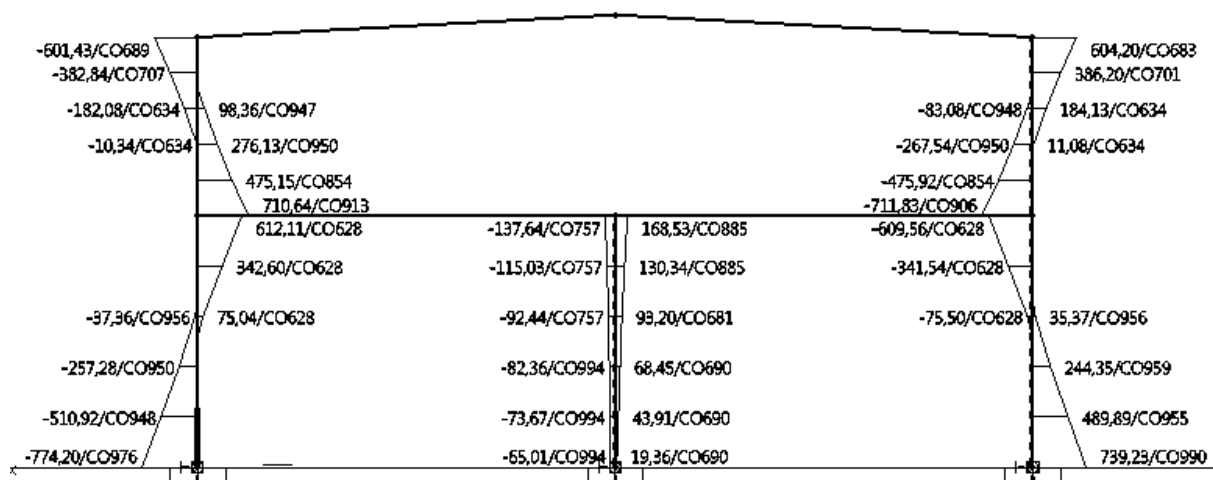
Obr. 4-66: ŽB rám s vlivem poddolování-střešní průvlak, obalová křivka ohybových momentů



Obr. 4-67: ŽB rám s vlivem poddolování-sloupy, obalová křivka normálových sil



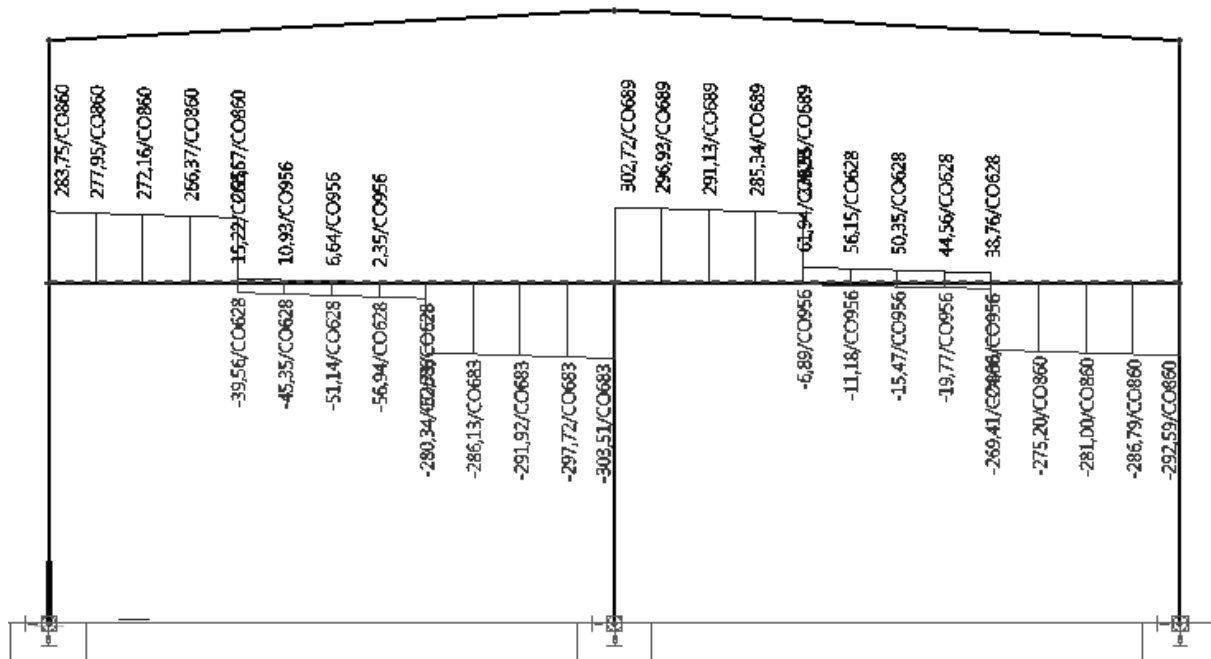
Obr. 4-68: ŽB rám s vlivem poddolování-sloupy, obalová křivka posouvajících sil



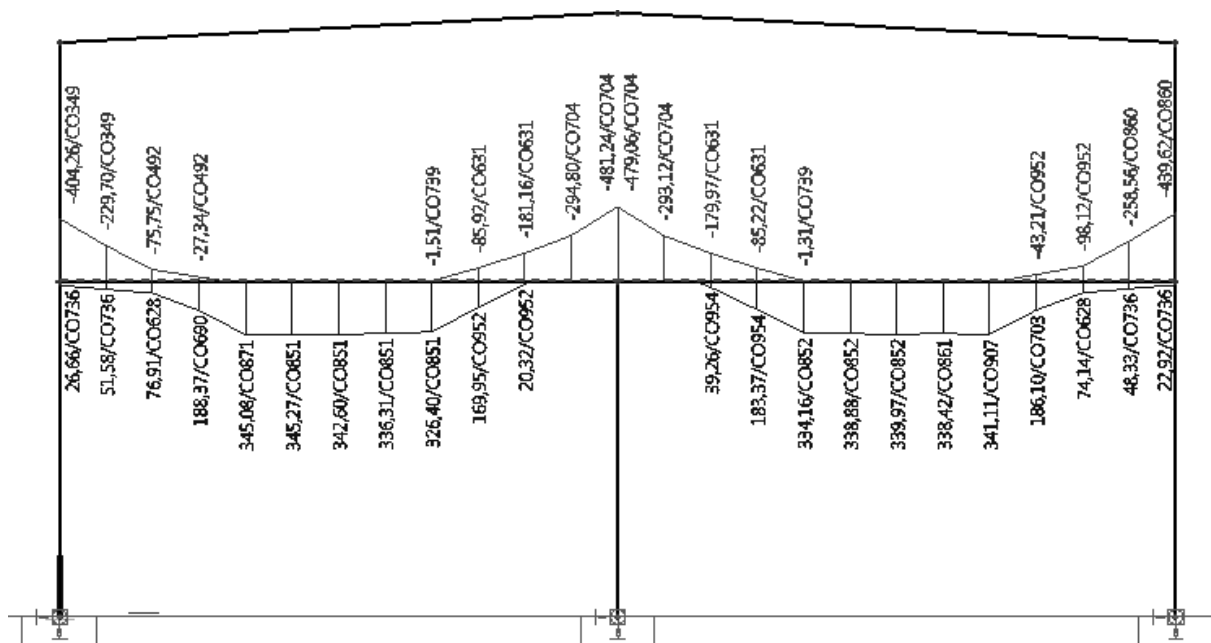
Obr. 4-69: ŽB rám s vlivem poddolování-sloupy, obalová křivka ohybových momentů

E) DEFORMACE ZADÁNY JAKO SÍLY, POSUVY SNÍŽENY NÁVRHEM TÁHLA

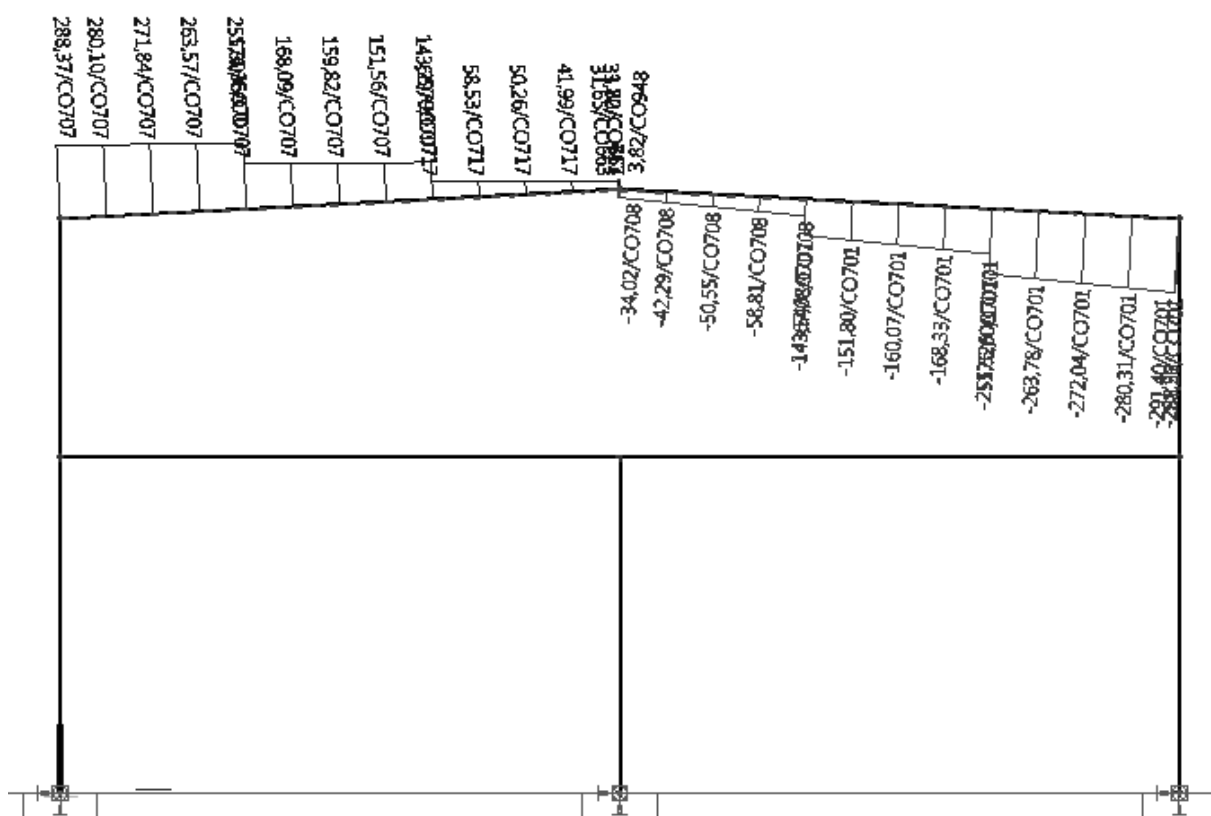
Jak vidíme, tak se v konstrukci vyskytují značné ohybové momenty, které jsou způsobené především vodorovným poměrným přetvořením ε . Řešení tohoto problému nalezneme v kapitole 2.5.2. V této práci budou pro snížení vnitřních sil nepříznivě působících na konstrukci navrženy táhla (rozpěry) viz kapitola 6.



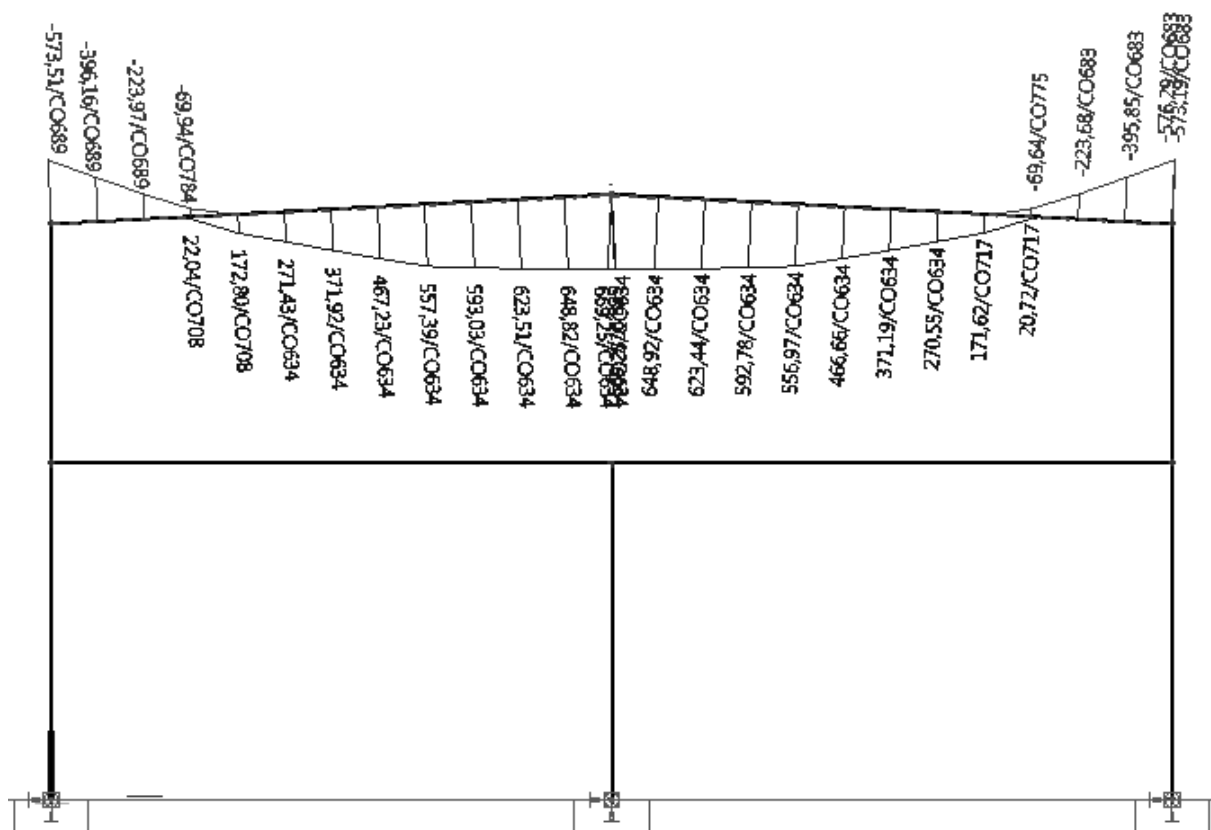
Obr. 4-70: ŽB rám s vlivem poddolování-stropní průvlak, obalová křivka posouvajících sil



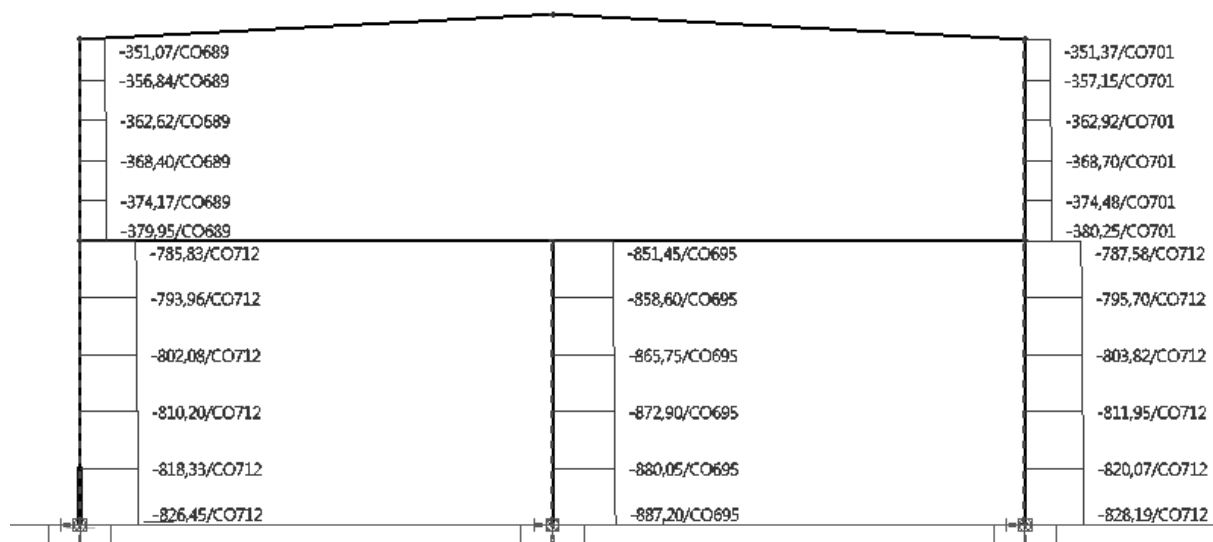
Obr. 4-71: ŽB rám s vlivem poddolování-stropní průvlak, obalová křivka ohybových momentů



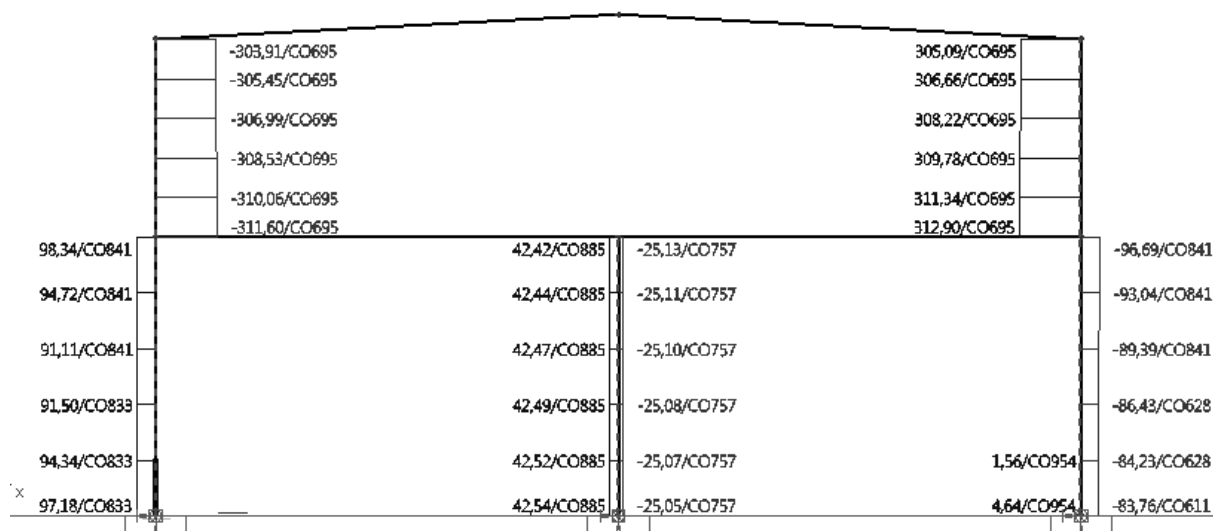
Obr. 4-72: ŽB rám s vlivem poddolování-střešní průvlak, obalová křivka posouvajících sil



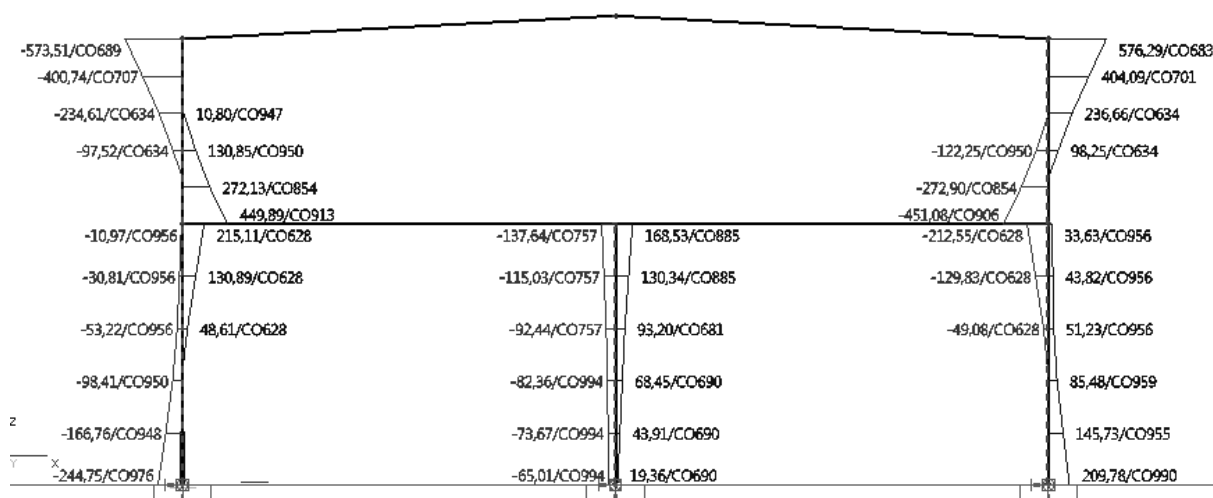
Obr. 4-73: ŽB rám s vlivem poddolování-střešní průvlak, obalová křivka ohybových momentů



Obr. 4-74: ŽB rám s vlivem poddolování-sloupy, obalová křivka normálových sil



Obr. 4-75: ŽB rám s vlivem poddolování-sloupy, obalová křivka posouvajících sil



Obr. 4-76: ŽB rám s vlivem poddolování-sloupy, obalová ohybových momentů

5 Statický výpočet konstrukce bez vlivu poddolování

Celá konstrukce byla rozdělena na jednotlivé prvky (deska, trám, průvlak, sloup, patka) a jednotlivé prvky budou dimenzovány podle příslušné normy.

5.1 ŽB stropní deska

Vnitřní síly k výpočtu desky nalezneme v kapitole 4.1.4.

A) TLOUŠŤKA DESKY

$$h_d = 90 \text{ mm}$$

B) BETON

$$C20/25 - f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,5} = 13,33 \text{ MPa}$$

C) OCEL

$$B500B - f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$$

D) KRYTÍ

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\}$$

$$\Delta c_{dev} = 5 \sim 10 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} = \emptyset = 8 \text{ mm}$$

$$c_{min,dur} = 15 \text{ mm (XC1,S4)}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\} = \max\{8; 15; 10\} = 15 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 5 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 15 + 5 = 20 \text{ mm}$$

E) NÁVRH VÝZTUŽE – KLADNÝ OHYBOVÝ MOMENT

$$m_{Ed} = 8,59 \text{ kNm/m}$$

$$h_d = 90 \text{ mm}$$

$$\emptyset = 8 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 20 \text{ mm}$$

$$d = h_d - c_{nom} - \frac{\phi}{2} = 90 - 20 - \frac{8}{2} = 66 \text{ mm}$$

$$a_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot f_{yd} \cdot d} = \frac{8,59 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot 0,066} = 3,326 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$s_{req} = \frac{\pi \cdot \phi^2}{a_{s,req} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{3,326 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,1511 \text{ m} \rightarrow s = \mathbf{100 \text{ mm}}$$

$$a_s = \frac{\pi \cdot \phi^2}{s \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{0,1 \cdot 4} = 5,027 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

NÁVRH: KARI SÍŤ Ø8 mm – 100x100 mm [$a_s = 5,027 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$]

F) POSOUZENÍ VÝZTUŽE – Kladný ohybový moment

$$x = \frac{a_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{5,027 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,0 \cdot 13,33 \cdot 10^6} = 0,0205 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} m_{Rd} &= a_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x) = \\ &= 5,027 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot (0,066 - 0,4 \cdot 0,0205) = \\ &= 12,63 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

$$m_{Rd} = 12,63 \text{ kNm/m} \geq m_{Ed} = 8,59 \text{ kNm/m}$$

VYHOVÍ

G) KONSTRUKČNÍ ZÁSADY

- MINIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$\begin{aligned} a_{s,min} &= \max \left\{ \frac{0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d}{0,0013 \cdot b_t \cdot d} \right\} = \max \left\{ \frac{0,26 \cdot \frac{2,2}{500} \cdot 1,0 \cdot 0,066}{0,0013 \cdot 1,0 \cdot 0,066} \right\} = \\ &= \max \left\{ \frac{7,55 \cdot 10^{-5}}{8,58 \cdot 10^{-5}} \right\} = 8,58 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$a_{s,min} = 8,58 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 < a_s = 5,027 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$a_{s,max} = 0,04 \cdot A_s = 0,04 \cdot 1,0 \cdot 0,09 = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$a_{s,max} = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 > a_s = 5,027 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

VYHOVÍ

- OMEZENÍ VÝŠKY TLAČENÉ OBLASTI

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,0205}{0,066} = 0,31 < \xi_{max} = 0,45 \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

- MINIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{min} = \max\{k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20 \text{ mm}\} = \max\{1,2 \cdot 8; 16 + 5; 20 \text{ mm}\} = \\ = \max\{9,6; 21; 20 \text{ mm}\} = 21 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = s - \emptyset = 100 - 8 = 92 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = 92 \text{ mm} > s_{min} = 21 \text{ mm} \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

- MAXIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{max} = \min\{2 \cdot h; 250 \text{ mm}\} = \min\{2 \cdot 90; 250\} = \min\{180; 250\} = 180 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 100 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 100 \text{ mm} < s_{max} = 180 \text{ mm} \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

- ROZDĚLOVACÍ VÝZTUŽ

$$a_{s,r} = 0,2 \cdot a_s = 0,2 \cdot 5,027 \cdot 10^{-4} = 1,005 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$s_{r,req} = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{a_{s,req} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{1,005 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,500 \text{ m}$$

$$s_{r,max} = \min\{3 \cdot h_d; 400 \text{ mm}\} = \min\{3 \cdot 90; 400 \text{ mm}\} = \min\{270; 400 \text{ mm}\} = \\ = 270 \text{ mm}$$

$$\underline{\text{NÁVRH: KARI SÍŤ Ø8 mm – 100x100 mm [} a_s = 5,027 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \text{]}} \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

- KOTEVNÍ DÉLKA

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = \frac{1,0 \cdot 1,5}{1,5} = 1,0 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,25 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{8}{4} \cdot \frac{434,78}{2,25} = 386,47 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 390 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 100 \text{ mm}\} = \max\{0,3 \cdot 386,47; 10 \cdot 8; 100\} = \\ = \max\{115,94; 80; 100\} = 115,94 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = 120 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 390 \text{ mm} > l_{b,min} = 120 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

H) NÁVRH VÝZTUŽE – ZÁPORNÝ OHYBOVÝ MOMENT

$$m_{Ed} = -10,65 \text{ kNm/m}$$

$$h_d = 90 \text{ mm}$$

$$\emptyset = 8 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 20 \text{ mm}$$

$$d = h_d - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} = 90 - 20 - \frac{8}{2} = 66 \text{ mm}$$

$$a_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot f_{yd} \cdot d} = \frac{10,65 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot 0,066} = 4,124 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$s_{req} = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{a_{s,req} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{4,124 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,1219 \text{ m} \rightarrow s = \mathbf{100 \text{ mm}}$$

$$a_s = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{s \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{0,1 \cdot 4} = 5,027 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

NÁVRH: KARI SÍŤ Ø8 mm – 100x100 mm [$a_s = 5,027 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$]

I) POSOUZENÍ VÝZTUŽE – ZÁPORNÝ OHYBOVÝ MOMENT

$$x = \frac{a_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{5,027 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,0 \cdot 13,33 \cdot 10^6} = 0,0205 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} m_{Rd} &= a_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x) \\ &= 5,027 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot (0,066 - 0,4 \cdot 0,0205) = \\ &= 12,63 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

$$m_{Rd} = 12,63 \text{ kNm/m} \geq m_{Ed} = 8,59 \text{ kNm/m}$$

VYHOVÍ

J) KONSTRUKČNÍ ZÁSADY

- MINIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$\begin{aligned} a_{s,min} &= \max \left\{ \frac{0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d}{0,0013 \cdot b_t \cdot d} \right\} = \max \left\{ \frac{0,26 \cdot \frac{2,2}{500} \cdot 1,0 \cdot 0,066}{0,0013 \cdot 1,0 \cdot 0,066} \right\} = \\ &= \max \left\{ \frac{7,55 \cdot 10^{-5}}{8,58 \cdot 10^{-5}} \right\} = 8,58 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$a_{s,min} = 8,58 \cdot 10^{-5} m^2 < a_s = 5,027 \cdot 10^{-4} m^2 \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

- MAXIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$a_{s,max} = 0,04 \cdot A_s = 0,04 \cdot 1,0 \cdot 0,09 = 3,6 \cdot 10^{-3} m^2$$

$$a_{s,max} = 3,6 \cdot 10^{-3} m^2 > a_s = 5,027 \cdot 10^{-4} m^2 \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

- OMEZENÍ VÝŠKY TLAČENÉ OBLASTI

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,0205}{0,066} = 0,31 < \xi_{max} = 0,45 \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

- MINIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{min} = \max\{k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20 \text{ mm}\} = \max\{1,2 \cdot 8; 16 + 5; 20 \text{ mm}\} = \\ = \max\{9,6; 21; 20 \text{ mm}\} = 21 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = s - \emptyset = 100 - 8 = 92 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = 92 \text{ mm} > s_{min} = 21 \text{ mm} \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

- MAXIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{max} = \min\{2 \cdot h; 250 \text{ mm}\} = \min\{2 \cdot 90; 250\} = \min\{180; 250\} = 180 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 100 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 100 \text{ mm} < s_{max} = 180 \text{ mm} \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

- ROZDĚLOVACÍ VÝZTUŽ

$$a_{s,r} = 0,2 \cdot a_s = 0,2 \cdot 5,027 \cdot 10^{-4} = 1,005 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$s_{r,req} = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{a_{s,req} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{1,005 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,500 \text{ m}$$

$$s_{r,max} = \min\{3 \cdot h_d; 400 \text{ mm}\} = \min\{3 \cdot 90; 400 \text{ mm}\} = \min\{270; 400 \text{ mm}\} = \\ = 270 \text{ mm}$$

$$\underline{\text{NÁVRH: KARI SÍŤ Ø8 mm – 100x100 mm [} a_s = 5,027 \cdot 10^{-4} m^2 \text{]}} \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

- KOTEVNÍ DÉLKA

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = \frac{1,0 \cdot 1,5}{1,5} = 1,0 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,25 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{8}{4} \cdot \frac{434,78}{2,25} = 386,47 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 390 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 100 \text{ mm}\} = \max\{0,3 \cdot 386,47; 10 \cdot 8; 100\} = \\ = \max\{115,94; 80; 100\} = 115,94 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = 120 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 390 \text{ mm} > l_{b,min} = 120 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

Pro danou konstrukci a dané zatížení vyhoví deska tloušťky 90 mm z betonu C20/25, vyztužená KARI sítí B500B Ø8 mm – 100x100 mm na kladný i záporný ohybový moment s krytím 20 mm s kotevními délkami 390 mm a 120 mm.

5.2 ŽB stropní trám

Vnitřní síly k výpočtu desky nalezneme v kapitole 4.2.4.

A) ROZMĚRY TRÁMU

$$300 \times 500 \text{ mm}$$

B) BETON

$$C20/25 - f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,5} = 13,33 \text{ MPa}$$

C) OCEL

$$B500B - f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$$

D) KRYTÍ

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\}$$

$$\Delta c_{dev} = 5 \sim 10 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} = \emptyset = 22 \text{ mm}$$

$$c_{min,dur} = 15 \text{ mm (XC1,S4)}$$

$$c_{min,1} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\} = \max\{22; 15; 10\} = 22 \text{ mm}$$

$$c_{min,tř} = \max\{c_{min,tř}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\} = \max\{8; 15; 10\} = 15 \text{ mm}$$

$$c_{min,2} = c_{min,tř} + \emptyset_{TŘ} = 15 + 8 = 23 \text{ mm}$$

$$c_{min} = 23 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 7 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 23 + 7 = 30 \text{ mm}$$

E) NÁVRH VÝZTUŽE – Kladný ohybový moment

$$M_{Ed} = 138,13 \text{ kNm}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$\emptyset = 18 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 30 \text{ mm}$$

$$d = h - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} = 500 - 30 - \frac{18}{2} = 461 \text{ mm}$$

$$A_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot f_{yd} \cdot d} = \frac{137,94 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot 0,461} = 7,657 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$n = \frac{A_{s,req} \cdot 4}{\pi \cdot \emptyset^2} = \frac{7,657 \cdot 10^{-4} \cdot 4}{\pi \cdot 0,018^2} = 3,009 \text{ ks} \rightarrow \mathbf{n = 3 \text{ ks}}$$

$$A_s = \frac{n \cdot \pi \cdot \emptyset^2}{4} = \frac{3 \cdot \pi \cdot 0,018^2}{4} = 7,634 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

NÁVRH: 3x Ø18 mm B500B [$a_s = 7,634 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$]

F) POSOUZENÍ VÝZTUŽE – Kladný ohybový moment

$$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w \leq b$$

$$b_{eff,i} = 0,2 \cdot b_i + 0,1 \cdot l_0 \leq 0,2 \cdot l_0$$

$$l = 6 \text{ m} \rightarrow l_0 = 0,85 \cdot l = 0,85 \cdot 6 = 5,1 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 0,2 \cdot b_1 + 0,1 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 1,1 + 0,1 \cdot 5,1 = 0,73 \text{ m} \leq 0,2 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 5,1 = 1,02 \text{ m}$$

$$b_{eff,2} = 0,2 \cdot b_2 + 0,1 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 1,1 + 0,1 \cdot 5,1 = 0,73 \text{ m} \leq 0,2 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 5,1 = 1,02 \text{ m}$$

$$b_w = 0,3 \text{ m}$$

$$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w = 0,73 + 0,73 + 0,3 = \mathbf{1,76\ m} \leq b = 2,5\ m$$

$$x = \frac{a_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b_{eff} \cdot f_{cd}} = \frac{7,634 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,76 \cdot 13,33 \cdot 10^6} = 0,0177\ m$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= a_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x) = \\ &= 5,027 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot (0,461 - 0,4 \cdot 0,0177) = \\ &= 150,67\ kNm \end{aligned}$$

$$\underline{M_{Rd} = 150,67\ kNm \geq M_{Ed} = 138,13\ kNm}$$

VYHOVÍ

G) KONSTRUKČNÍ ZÁSADY

- MINIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$\begin{aligned} A_{s,min} &= \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \\ 0,0013 \cdot b_t \cdot d \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{2,2}{500} \cdot 0,3 \cdot 0,461 \\ 0,0013 \cdot 0,3 \cdot 0,461 \end{array} \right\} = \\ &= \max \left\{ \begin{array}{l} 1,58 \cdot 10^{-4} \\ 1,80 \cdot 10^{-4} \end{array} \right\} = 1,80 \cdot 10^{-4}\ m^2 \end{aligned}$$

$$A_{s,min} = 1,80 \cdot 10^{-4}\ m^2 < A_s = 7,634 \cdot 10^{-4}\ m^2$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_s = 0,04 \cdot 0,3 \cdot 0,5 = 6 \cdot 10^{-3}\ m^2$$

$$A_{s,max} = 6 \cdot 10^{-3}\ m^2 > A_s = 7,634 \cdot 10^{-4}\ m^2$$

VYHOVÍ

- OMEZENÍ VÝŠKY TLAČENÉ OBLASTI

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,0177}{0,461} = 0,04 < \xi_{max} = 0,45$$

VYHOVÍ

- MINIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$\begin{aligned} s_{min} &= \max\{k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20\ mm\} = \max\{1,2 \cdot 18; 16 + 5; 20\ mm\} = \\ &= \max\{21,6; 21; 20\ mm\} = 21,6\ mm \end{aligned}$$

$$s_{sv} = \frac{b_w - 2 \cdot c_{nom} - n \cdot \emptyset}{n - 1} = \frac{300 - 2 \cdot 30 - 3 \cdot 18}{3 - 1} = 93\ mm$$

$$s_{sv} = 93\ mm > s_{min} = 21,6\ mm$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{max} = \min\{2 \cdot h; 250 \text{ mm}\} = \min\{2 \cdot 500; 250\} = \min\{1000; 250\} = 250 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 111 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 111 \text{ mm} < s_{max} = 250 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- KOTEVNÍ DÉLKA

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = \frac{1,0 \cdot 1,5}{1,5} = 1,0 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,25 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{18}{4} \cdot \frac{434,78}{2,25} = 869,56 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 870 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \phi; 100 \text{ mm}\} = \max\{0,3 \cdot 869,56; 10 \cdot 18; 100\} = \\ = \max\{260,87; 180; 100\} = 260,87 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = 270 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 870 \text{ mm} > l_{b,min} = 270 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

H) NÁVRH VÝZTUŽE – ZÁPORNÝ OHYBOVÝ MOMENT

$$M_{Ed} = -171,73 \text{ kNm}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$\phi = 18 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 30 \text{ mm}$$

$$d_1 = h - c_{nom} - \frac{\phi}{2} = 500 - 30 - \frac{18}{2} = 461 \text{ mm}$$

$$d_2 = h - c_{nom,desky} - \phi_{desky} - \frac{\phi}{2} = 500 - 20 - 8 - \frac{22}{2} = 461 \text{ mm}$$

$$d = \min\{d_1; d_2\} = \min\{461; 461\} = 461 \text{ mm}$$

$$A_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot f_{yd} \cdot d} = \frac{171,73 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot 0,461} = 9,520 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$n = \frac{A_{s,req} \cdot 4}{\pi \cdot \phi^2} = \frac{9,520 \cdot 10^{-4} \cdot 4}{\pi \cdot 0,018^2} = 3,74 \text{ ks} \rightarrow \mathbf{n = 4 \text{ ks}}$$

$$A_s = \frac{n \cdot \pi \cdot \phi^2}{4} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 0,022^2}{4} = 1,018 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

NÁVRH: 4x Ø18 mm B500B [$a_s = 1,018 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$]

I) POSOUZENÍ VÝZTUŽE – ZÁPORNÝ OHYBOVÝ MOMENT

$$x = \frac{a_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b_w \cdot f_{cd}} = \frac{1,018 \cdot 10^{-3} \cdot 434,78 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 0,3 \cdot 13,33 \cdot 10^6} = 0,1383 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= a_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x) = \\ &= 5,027 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot (0,461 - 0,4 \cdot 0,1383) = \\ &= 179,54 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_{Rd} = 179,54 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 171,73 \text{ kNm}$$

VYHOVÍ

J) KONSTRUKČNÍ ZÁSADY

- MINIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$\begin{aligned} A_{s,min} &= \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \\ 0,0013 \cdot b_t \cdot d \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{2,2}{500} \cdot 0,3 \cdot 0,461 \\ 0,0013 \cdot 0,3 \cdot 0,461 \end{array} \right\} = \\ &= \max \left\{ \begin{array}{l} 1,58 \cdot 10^{-4} \\ 1,80 \cdot 10^{-4} \end{array} \right\} = 1,80 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s,min} = 1,80 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < A_s = 1,018 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_s = 0,04 \cdot 0,3 \cdot 0,5 = 6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 > A_s = 1,018 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

VYHOVÍ

- OMEZENÍ VÝŠKY TLAČENÉ OBLASTI

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,1383}{0,461} = 0,30 < \xi_{max} = 0,45$$

VYHOVÍ

- MINIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$\begin{aligned} s_{min} &= \max\{k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20 \text{ mm}\} = \max\{1,2 \cdot 18; 16 + 5; 20 \text{ mm}\} = \\ &= \max\{21,6; 21; 20 \text{ mm}\} = 21,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$s_{sv} = \frac{b_w - 2 \cdot c_{nom} - n \cdot \emptyset}{n - 1} = \frac{300 - 2 \cdot 30 - 4 \cdot 18}{4 - 1} = 56 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = 56 \text{ mm} > s_{min} = 21,6 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{max} = \min\{2 \cdot h; 250 \text{ mm}\} = \min\{2 \cdot 500; 250\} = \min\{1000; 250\} = 250 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 74 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 74 \text{ mm} < s_{max} = 250 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- KOTEVNÍ DÉLKA

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = \frac{1,0 \cdot 1,5}{1,5} = 1,0 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,25 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{18}{4} \cdot \frac{434,78}{2,25} = 869,57 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 870 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 100 \text{ mm}\} = \max\{0,3 \cdot 869,57; 10 \cdot 18; 100\} = \\ = \max\{260,87; 180; 100\} = 260,87 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = 270 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 870 \text{ mm} > l_{b,min} = 270 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

K) NÁVRH TRÁMU NA SMYK

$$V_{Ed} = 153,50 \text{ kN}$$

- NÁVRHOVÁ ÚNOSNOST VE SMYKU BEZ SMYKOVÉ VÝZTUŽE

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{461}} = 1,659 \leq 2,0$$

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{1,018 \cdot 10^{-3}}{0,3 \cdot 0,461} = 0,00736 \leq 0,02$$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d = \\ = [0,12 \cdot 1,659 \cdot (100 \cdot 0,00736 \cdot 20)^{1/3} + 0] \cdot 0,3 \cdot 0,461 = \\ = 0,06746 \text{ MN} = 67,46 \text{ kN}$$

$V_{Rd,c} = 67,46 \text{ kN} \not\geq V_{Ed} = 153,50 \text{ kN}$... musíme navrhnout smykovou výztuž

- MINIMÁLNÍ SMYKOVÁ ÚNOSNOST BEZ SMYKOVÉ VÝZTUŽE

$$V_{Rd,c,min} = v_{min} \cdot b_w \cdot d$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,659^{\frac{3}{2}} \cdot (20 \cdot 10^6)^{\frac{1}{2}} = 334,37 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c,min} = v_{min} \cdot b_w \cdot d = 334,37 \cdot 0,3 \cdot 0,461 = 46,24 \text{ kN} \dots \text{neuvažujeme}$$

NÁVRH: DVOUSTŘÍŽNÝ TŘMÍNEK Ø8 mm B500B

- POSOUVAJÍCÍ SÍLA, KTEROU PŘENESE SMYKOVÁ VÝZTUŽ NA MEZI KLUZU

$$V_{Rd,s} = A_{sw} \cdot \frac{1,0}{s_l} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cotg \theta$$

$$A_{sw} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{\emptyset^2}{4} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{0,008^2}{4} = 1,005 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$s_l = 0,1 \text{ m}$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 0,461 = 0,4149 \text{ m}$$

$$f_{ywd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$\theta = 45^\circ, \cotg \theta = 1$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,s} &= A_{sw} \cdot \frac{1,0}{s_l} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cotg \theta = 1,005 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{1,0}{0,1} \cdot 0,4149 \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot 1 = \\ &= 181349 \text{ N} = 181,35 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{Rd,s} = 181,35 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 153,50 \text{ kN}$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ ÚNOSNOST VE SMYKU

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot \frac{f_{cd}}{\cotg \theta + \tg \theta}$$

$$v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{20}{250}\right) = 0,552$$

$$\theta = 45^\circ$$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot \frac{f_{cd}}{\cotg \theta + \tg \theta} = 1,0 \cdot 0,3 \cdot 0,4149 \cdot 0,552 \cdot \frac{13,33 \cdot 10^6}{1+1} =$$

$$458050 \text{ N} = 458,05 \text{ kN} \dots \text{neuvažujeme}$$

L) KONSTRUKČNÍ ZÁSADY

- MINIMÁLNÍ PLOCHA SMYKOVÉ VÝZTUŽE, MINIMÁLNÍ STUPEŇ VÝZTUŽENÍ SMYK. VÝZT.

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{s_l \cdot b_w \cdot \sin \alpha} \geq \rho_{sw,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$$

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{s_l \cdot b_w \cdot \sin \alpha} = \frac{1,005 \cdot 10^{-4}}{0,1 \cdot 0,3 \cdot \sin 90^\circ} = 3,35 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{sw,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{20}}{500} = 7,16 \cdot 10^{-4}$$

$$\rho_{sw} = 3,35 \cdot 10^{-3} \geq \rho_{sw,min} = 7,16 \cdot 10^{-4}$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ OSOVÁ VZDÁLENOST MEZI VĚTVEMI TŘMÍNKU

$$s_t = b_w - 2 \cdot c_{nom} + \phi_{sw} = 300 - 2 \cdot 30 + 8 = 248 \text{ mm}$$

$$s_{t,max} = 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 461 = 345,75 \text{ mm}$$

$$s_t = 248 \text{ mm} \leq s_{t,max} = 345,75 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ OSOVÁ VZDÁLENOST MEZI TŘMÍNKY

$$s_l = 100 \text{ mm}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$s_{l,max} = 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cotg \alpha) = 0,75 \cdot 459 \cdot (1 + \cotg 90^\circ) = 345,75 \text{ mm}$$

$$s_l = 100 \text{ mm} \leq s_{l,max} = 345,75 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

Pro danou konstrukci a dané zatížení vyhoví trám rozměru 300x500 mm z betonu C20/25, vyztužený na kladný moment 3x Ø18 mm B500B a na záporný ohybový moment 4x Ø18 mm B500B s krytím 30 mm s kotevními délkami 870 mm a 270 mm. Pro přenos smykového namáhání vyhoví 2-střížné třmínky Ø8 mm po 100 mm z oceli B500B.

5.3 ŽB stropní průvlak

Vnitřní síly k výpočtu průvlaku nalezneme v kapitole 4.5.8 – ŽB rám bez vlivu poddolování.

A) ROZMĚRY TRÁMU

$$400 \times 700 \text{ mm}$$

B) BETON

$$C20/25 - f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,5} = 13,33 \text{ MPa}$$

C) OCEL

$$B500B - f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$$

D) KRYTÍ

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\}$$

$$\Delta c_{dev} = 5 \sim 10 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} = \emptyset = 22 \text{ mm}$$

$$c_{min,dur} = 15 \text{ mm (XC1,S4)}$$

$$c_{min,1} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\} = \max\{22; 15; 10\} = 22 \text{ mm}$$

$$c_{min,tř} = \max\{c_{min,tř}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\} = \max\{10; 15; 10\} = 15 \text{ mm}$$

$$c_{min,2} = c_{min,tř} + \emptyset_{TŘ} = 15 + 10 = 25 \text{ mm}$$

$$c_{min} = 25 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 5 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 25 + 5 = 30 \text{ mm}$$

E) NÁVRH VÝZTUŽE – MAXIMÁLNÍ Kladný OHYBOVÝ MOMENT V POLI

$$M_{Ed} = 297,91 \text{ kNm}$$

$$h = 700 \text{ mm}$$

$$\emptyset = 22 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 30 \text{ mm}$$

$$d = h - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} = 700 - 30 - \frac{22}{2} = 659 \text{ mm}$$

$$A_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot f_{yd} \cdot d} = \frac{297,91 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot 0,659} = 1,155 \cdot 10^{-3} m^2$$

$$n = \frac{A_{s,req} \cdot 4}{\pi \cdot \emptyset^2} = \frac{1,155 \cdot 10^{-3} \cdot 4}{\pi \cdot 0,022^2} = 3,039 ks \rightarrow n = 4 ks$$

$$A_s = \frac{n \cdot \pi \cdot \emptyset^2}{4} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 0,022^2}{4} = 1,521 \cdot 10^{-3} m^2$$

NÁVRH: 4x Ø22 mm B500B [a_s = 1,521 · 10⁻³ m²]

F) POSOUZENÍ VÝZTUŽE – MAXIMÁLNÍ Kladný OHYBOVÝ MOMENT V POLI

$$x = \frac{a_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b_w \cdot f_{cd}} = \frac{1,521 \cdot 10^{-3} \cdot 434,78 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 13,33 \cdot 10^6} = 0,1549 m$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= a_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x) = \\ &= 1,521 \cdot 10^{-3} \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot (0,659 - 0,4 \cdot 0,1549) = \\ &= 394,69 kNm \end{aligned}$$

$$M_{Rd} = 394,69 kNm \geq M_{Ed} = 297,91 kNm$$

VYHOVÍ

G) KONSTRUKČNÍ ZÁSADY

- MINIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$\begin{aligned} A_{s,min} &= \max \left\{ \frac{0,26 \cdot f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d, 0,0013 \cdot b_t \cdot d \right\} = \max \left\{ \frac{0,26 \cdot \frac{2,2}{500}}{0,0013} \cdot 0,4 \cdot 0,659, 0,0013 \cdot 0,4 \cdot 0,659 \right\} = \\ &= \max \left\{ 3,02 \cdot 10^{-4}, 3,43 \cdot 10^{-4} \right\} = 3,43 \cdot 10^{-4} m^2 \end{aligned}$$

$$A_{s,min} = 3,43 \cdot 10^{-4} m^2 < A_s = 1,521 \cdot 10^{-3} m^2$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_s = 0,04 \cdot 0,4 \cdot 0,7 = 1,12 \cdot 10^{-2} m^2$$

$$A_{s,max} = 1,12 \cdot 10^{-2} m^2 > A_s = 1,521 \cdot 10^{-3} m^2$$

VYHOVÍ

- OMEZENÍ VÝŠKY TLAČENÉ OBLASTI

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,1549}{0,659} = 0,24 < \xi_{max} = 0,45$$

VYHOVÍ

- MINIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{min} = \max\{k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20 \text{ mm}\} = \max\{1,2 \cdot 22; 16 + 5; 20 \text{ mm}\} = \\ = \max\{26,4; 21; 20 \text{ mm}\} = 26,4 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = \frac{b_w - 2 \cdot c_{nom} - n \cdot \emptyset}{n - 1} = \frac{400 - 2 \cdot 30 - 4 \cdot 22}{4 - 1} = 84 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = 84 \text{ mm} > s_{min} = 26,4 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{max} = \min\{2 \cdot h; 250 \text{ mm}\} = \min\{2 \cdot 700; 250\} = \min\{1400; 250\} = 250 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 89,33 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 106 \text{ mm} < s_{max} = 250 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- KOTEVNÍ DÉLKA

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = \frac{1,0 \cdot 1,5}{1,5} = 1,0 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,25 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{22}{4} \cdot \frac{434,78}{2,25} = 1062,80 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 1070 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 100 \text{ mm}\} = \max\{0,3 \cdot 1042,80; 10 \cdot 22; 100\} = \\ = \max\{318,84; 220; 100\} = 318,84 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = 320 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 1070 \text{ mm} > l_{b,min} = 320 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

H) NÁVRH VÝZTUŽE – ZÁPORNÝ OHYBOVÝ MOMENT NAD STŘEDNÍM SLOUPEM

$$M_{Ed} = -511,81 \text{ kNm}$$

$$h = 700 \text{ mm}$$

$$\emptyset = 22 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 30 \text{ mm}$$

$$d_1 = h - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} = 700 - 30 - \frac{22}{2} = 659 \text{ mm}$$

$$d_2 = h - c_{nom,desky} - \phi_{desky} - \frac{\phi}{2} = 700 - 20 - 10 - \frac{22}{2} = 659 \text{ mm}$$

$$d = \min\{d_1; d_2\} = \min\{659; 659\} = 659 \text{ mm}$$

$$A_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot f_{yd} \cdot d} = \frac{511,81 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot 0,659} = 1,985 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$n = \frac{A_{s,req} \cdot 4}{\pi \cdot \phi^2} = \frac{1,992 \cdot 10^{-3} \cdot 4}{\pi \cdot 0,022^2} = 5,221 \text{ ks} \rightarrow \mathbf{n = 6 \text{ ks}}$$

$$A_s = \frac{n \cdot \pi \cdot \phi^2}{4} = \frac{6 \cdot \pi \cdot 0,022^2}{4} = 2,281 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

NÁVRH: 6x Ø22 mm B500B [$a_s = 2,281 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$]

I) POSOUZENÍ VÝZTUŽE – ZÁPORNÝ OHYBOVÝ MOMENT NAD STŘEDNÍM SLOUPEM

$$x = \frac{a_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b_w \cdot f_{cd}} = \frac{2,281 \cdot 10^{-3} \cdot 434,78 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 13,33 \cdot 10^6} = 0,2324 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= a_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x) = \\ &= 2,281 \cdot 10^{-3} \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot (0,659 - 0,4 \cdot 0,2324) = \\ &= 561,31 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\underline{M_{Rd} = 561,31 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 511,81 \text{ kNm}}$$

VYHOVÍ

J) KONSTRUKČNÍ ZÁSADY
- MINIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$\begin{aligned} A_{s,min} &= \max \left\{ \frac{0,26 \cdot f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \right\} = \max \left\{ \frac{0,26 \cdot \frac{2,2}{500}}{0,0013} \cdot 0,4 \cdot 0,659 \right\} = \\ &= \max \left\{ \frac{3,02 \cdot 10^{-4}}{3,43 \cdot 10^{-4}} \right\} = 3,00 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s,min} = 3,43 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < A_s = 2,281 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_s = 0,04 \cdot 0,4 \cdot 0,7 = 1,12 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 1,12 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 > A_s = 2,281 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

VYHOVÍ

- OMEZENÍ VÝŠKY TLAČENÉ OBLASTI

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,2324}{0,659} = 0,35 < \xi_{max} = 0,45 \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

- MINIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{min} = \max\{k_1 \cdot \varnothing; d_g + k_2; 20 \text{ mm}\} = \max\{1,2 \cdot 22; 16 + 5; 20 \text{ mm}\} = \\ = \max\{26,4; 21; 20 \text{ mm}\} = 26,4 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = \frac{b_w - 2 \cdot c_{nom} - n \cdot \varnothing}{n - 1} = \frac{400 - 2 \cdot 30 - 6 \cdot 22}{6 - 1} = 41,6 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = 41,6 \text{ mm} > s_{min} = 26,4 \text{ mm} \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

- MAXIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{max} = \min\{2 \cdot h; 250 \text{ mm}\} = \min\{2 \cdot 700; 250\} = \min\{1400; 250\} = 250 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 63,6 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 63,6 \text{ mm} < s_{max} = 250 \text{ mm} \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

- KOTEVNÍ DÉLKA

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = \frac{1,0 \cdot 1,5}{1,5} = 1,0 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,25 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\varnothing}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{22}{4} \cdot \frac{434,78}{2,25} = 1062,80 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 1070 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \varnothing; 100 \text{ mm}\} = \max\{0,3 \cdot 1062,80; 10 \cdot 22; 100\} = \\ = \max\{318,84; 220; 100\} = 318,84 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = 320 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 1070 \text{ mm} > l_{b,min} = 320 \text{ mm} \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

K) NÁVRH VÝZTUŽE – ZÁPORNÝ OHYBOVÝ MOMENT NAD KRAJNÍM SLOUPEM

$$M_{Ed} = -414,26 \text{ kNm}$$

$$h = 700 \text{ mm}$$

$$\emptyset = 22 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 30 \text{ mm}$$

$$d_1 = h - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} = 700 - 30 - \frac{22}{2} = 659 \text{ mm}$$

$$d_2 = h - c_{nom,desky} - \emptyset_{desky} - \frac{\emptyset}{2} = 700 - 20 - 10 - \frac{22}{2} = 659 \text{ mm}$$

$$d = \min\{d_1; d_2\} = \min\{659; 659\} = 659 \text{ mm}$$

$$A_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot f_{yd} \cdot d} = \frac{414,26 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot 0,659} = 1,606 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$n = \frac{A_{s,req} \cdot 4}{\pi \cdot \emptyset^2} = \frac{1,606 \cdot 10^{-3} \cdot 4}{\pi \cdot 0,022^2} = 4,226 \text{ ks} \rightarrow \mathbf{n = 5 \text{ ks}}$$

$$A_s = \frac{n \cdot \pi \cdot \emptyset^2}{4} = \frac{5 \cdot \pi \cdot 0,022^2}{4} = 1,901 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

NÁVRH: 5x Ø22 mm B500B [$a_s = 1,901 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$]

L) POSOUZENÍ VÝZTUŽE – ZÁPORNÝ OHYBOVÝ MOMENT NAD KRAJNÍM SLOUPEM

$$x = \frac{a_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b_w \cdot f_{cd}} = \frac{1,901 \cdot 10^{-3} \cdot 434,78 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 13,33 \cdot 10^6} = 0,1937 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = a_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 1,901 \cdot 10^{-3} \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot (0,659 - 0,4 \cdot 0,1937) \\ = 480,46 \text{ kNm}$$

$$\underline{M_{Rd} = 480,46 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 414,26 \text{ kNm}}$$

VYHOVÍ

M) KONSTRUKČNÍ ZÁSADY

- MINIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \\ 0,0013 \cdot b_t \cdot d \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{2,2}{500} \cdot 0,4 \cdot 0,659 \\ 0,0013 \cdot 0,4 \cdot 0,659 \end{array} \right\} = \\ = \max \left\{ \begin{array}{l} 3,02 \cdot 10^{-4} \\ 3,43 \cdot 10^{-4} \end{array} \right\} = 3,43 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 3,43 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < A_s = 1,901 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_s = 0,04 \cdot 0,4 \cdot 0,7 = 1,12 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 1,12 \cdot 10^{-2} m^2 > A_s = 1,901 \cdot 10^{-3} m^2 \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

- OMEZENÍ VÝŠKY TLAČENÉ OBLASTI

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,1937}{0,659} = 0,29 < \xi_{max} = 0,45 \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

- MINIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{min} = \max\{k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20 \text{ mm}\} = \max\{1,2 \cdot 22; 16 + 5; 20 \text{ mm}\} = \\ = \max\{26,4; 21; 20 \text{ mm}\} = 26,4 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = \frac{b_w - 2 \cdot c_{nom} - n \cdot \emptyset}{n - 1} = \frac{400 - 2 \cdot 30 - 5 \cdot 22}{5 - 1} = 57,5 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = 57,5 \text{ mm} > s_{min} = 26,4 \text{ mm} \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

- MAXIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{max} = \min\{2 \cdot h; 250 \text{ mm}\} = \min\{2 \cdot 700; 250\} = \min\{1400; 250\} = 250 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 79,5 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 79,5 \text{ mm} < s_{max} = 250 \text{ mm} \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

- KOTEVNÍ DÉLKA

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = \frac{1,0 \cdot 1,5}{1,5} = 1,0 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,25 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{22}{4} \cdot \frac{434,78}{2,25} = 1062,80 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 1070 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 100 \text{ mm}\} = \max\{0,3 \cdot 1062,80; 10 \cdot 22; 100\} = \\ = \max\{318,84; 220; 100\} = 318,84 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = 320 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 1070 \text{ mm} > l_{b,min} = 320 \text{ mm} \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

N) NÁVRH PRŮVLAKU NA SMYK

$$V_{Ed} = 304,79 \text{ kN}$$

- NÁVRHOVÁ ÚNOSNOST VE SMYKU BEZ SMYKOVÉ VÝZTUŽE

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{659}} = 1,55 \leq 2,0$$

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{2,281 \cdot 10^{-3}}{0,4 \cdot 0,659} = 0,00865 \leq 0,02$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,c} &= [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d = \\ &= [0,12 \cdot 1,55 \cdot (100 \cdot 0,00865 \cdot 20)^{1/3} + 0] \cdot 0,4 \cdot 0,659 = \\ &= 0,12682 \text{ MN} = 126,82 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{Rd,c} = 126,82 \text{ kN} \not\geq V_{Ed} = 304,79 \text{ kN} \dots \text{musíme navrhnout smykovou výztuž}$$

- MINIMÁLNÍ SMYKOVÁ ÚNOSNOST BEZ SMYKOVÉ VÝZTUŽE

$$V_{Rd,c,min} = v_{min} \cdot b_w \cdot d$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,55^{\frac{3}{2}} \cdot (20 \cdot 10^6)^{\frac{1}{2}} = 302,05 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c,min} = v_{min} \cdot b_w \cdot d = 302,05 \cdot 0,4 \cdot 0,659 = 79,62 \text{ kN} \dots \text{neuvažujeme}$$

NÁVRH: DVOUSTŘÍŽNÝ TŘMÍNEK Ø10 mm B500B

- POSOUVAJÍCÍ SÍLA, KTEROU PŘENESE SMYKOVÁ VÝZTUŽ NA MEZI KLUZU

$$V_{Rd,s} = A_{sw} \cdot \frac{1,0}{s_l} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cotg \theta$$

$$A_{sw} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{\emptyset^2}{4} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{0,01^2}{4} = 1,571 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$s_l = 0,1 \text{ m}$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 0,659 = 0,5931 \text{ m}$$

$$f_{ywd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$\theta = 45^\circ, \cotg \theta = 1$$

$$V_{Rd,s} = A_{sw} \cdot \frac{1,0}{s_l} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cotg \theta = 1,571 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{1,0}{0,1} \cdot 0,5931 \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot 1 =$$

$$= 405111 \text{ N} = 405,11 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} = 405,11 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 304,79 \text{ kN}$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ ÚNOSNOST VE SMYKU

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot \frac{f_{cd}}{\cotg \theta + \tg \theta}$$

$$v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{20}{250}\right) = 0,552$$

$$\theta = 45^\circ$$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot \frac{f_{cd}}{\cotg \theta + \tg \theta} = 1,0 \cdot 0,4 \cdot 0,5931 \cdot 0,552 \cdot \frac{13,33 \cdot 10^6}{1+1} =$$

$$872825 \text{ N} = 872,83 \text{ kN} \dots \text{neuvažujeme}$$

O) KONSTRUKČNÍ ZÁSADY

- MINIMÁLNÍ PLOCHA SMYKOVÉ VÝZTUŽE, MINIMÁLNÍ STUPEŇ VÝZTUŽENÍ SMYK. VÝZT.

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{s_l \cdot b_w \cdot \sin \alpha} \geq \rho_{sw,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$$

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{s_l \cdot b_w \cdot \sin \alpha} = \frac{1,571 \cdot 10^{-4}}{0,1 \cdot 0,4 \cdot \sin 90^\circ} = 3,93 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{sw,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{20}}{500} = 7,16 \cdot 10^{-4}$$

$$\rho_{sw} = 3,93 \cdot 10^{-3} \geq \rho_{sw,min} = 7,16 \cdot 10^{-4}$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ OSOVÁ VZDÁLENOST MEZI VĚTVEMI TŘMÍNKU

$$s_t = b_w - 2 \cdot c_{nom} + \emptyset_{sw} = 400 - 2 \cdot 30 + 10 = 350 \text{ mm}$$

$$s_{t,max} = 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 659 = 494,25 \text{ mm}$$

$$s_t = 350 \text{ mm} \leq s_{t,max} = 494,25 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ OSOVÁ VZDÁLENOST MEZI TŘMÍNKY

$$s_l = 100 \text{ mm}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$s_{l,max} = 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cotg \alpha) = 0,75 \cdot 659 \cdot (1 + \cotg 90^\circ) = 494,25 \text{ mm}$$

$$s_l = 100 \text{ mm} \leq s_{l,max} = 494,25 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

Pro danou konstrukci a dané zatížení vyhoví průvlak rozměru 400x700 mm z betonu C20/25, vyztužený na kladný moment 4x Ø22 mm B500B, na záporný ohybový moment nad středním sloupem 6x Ø22 mm B500B a na záporný ohybový moment nad krajním sloupem 5x Ø22 mm B500B s krytím 30 mm s kotevními délkami 1070 mm a 320 mm. Pro přenos smykového namáhání vyhoví 2-střížné třmínky Ø10 mm po 100 mm z oceli B500B.

5.4 ŽB střešní deska

Vnitřní síly k výpočtu desky nalezneme v kapitole 4.3.5.

A) TLOUŠŤKA DESKY

$$h_d = 80 \text{ mm}$$

B) BETON

$$C20/25 - f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,5} = 13,33 \text{ MPa}$$

C) OCEL

$$B500B - f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$$

D) KRYTÍ

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\}$$

$$\Delta c_{dev} = 5 \sim 10 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} = \emptyset = 6 \text{ mm}$$

$$c_{min,dur} = 15 \text{ mm (XC1,S4)}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\} = \max\{6; 15; 10\} = 15 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 5 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 15 + 5 = 20 \text{ mm}$$

E) NÁVRH VÝZTUŽE – Kladný ohybový moment

$$m_{Ed} = 1,99 \text{ kNm/m}$$

$$h_d = 80 \text{ mm}$$

$$\emptyset = 6 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 20 \text{ mm}$$

$$d = h_d - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} = 80 - 20 - \frac{6}{2} = 57 \text{ mm}$$

$$a_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot f_{yd} \cdot d} = \frac{1,99 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot 0,057} = 8,922 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$s_{req} = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{a_{s,req} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,006^2}{8,922 \cdot 10^{-5} \cdot 4} = 0,3169 \text{ m} \rightarrow s = \mathbf{150 \text{ mm}}$$

$$a_s = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{s \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,006^2}{0,1 \cdot 4} = 1,885 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

NÁVRH: KARI SÍŤ ø6 mm – 150x150 mm [$a_s = 1,885 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$]

F) POSOUZENÍ VÝZTUŽE – Kladný ohybový moment

$$x = \frac{a_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{1,885 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,0 \cdot 13,33 \cdot 10^6} = 0,0077 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} m_{Rd} &= a_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x) = \\ &= 1,885 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot (0,057 - 0,4 \cdot 0,0077) = \\ &= 4,42 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

$$m_{Rd} = 4,42 \text{ kNm/m} \geq m_{Ed} = 1,99 \text{ kNm/m}$$

VYHOVÍ

G) KONSTRUKČNÍ ZÁSADY

- MINIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$\begin{aligned} a_{s,min} &= \max \left\{ \frac{0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d}{0,0013 \cdot b_t \cdot d} \right\} = \max \left\{ \frac{0,26 \cdot \frac{2,2}{500} \cdot 1,0 \cdot 0,057}{0,0013 \cdot 1,0 \cdot 0,057} \right\} = \\ &= \max \left\{ \frac{6,52 \cdot 10^{-5}}{7,41 \cdot 10^{-5}} \right\} = 7,41 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$a_{s,min} = 7,41 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 < a_s = 1,885 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$a_{s,max} = 0,04 \cdot A_s = 0,04 \cdot 1,0 \cdot 0,08 = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$a_{s,max} = 3,2 \cdot 10^{-3} m^2 > a_s = 1,885 \cdot 10^{-4} m^2 \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

- OMEZENÍ VÝŠKY TLAČENÉ OBLASTI

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,0077}{0,057} = 0,14 < \xi_{max} = 0,45 \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

- MINIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{min} = \max\{k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20 \text{ mm}\} = \max\{1,2 \cdot 6; 16 + 5; 20 \text{ mm}\} = \\ = \max\{7,2; 21; 20 \text{ mm}\} = 21 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = s - \emptyset = 150 - 6 = 144 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = 144 \text{ mm} > s_{min} = 21 \text{ mm} \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

- MAXIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{max} = \min\{2 \cdot h; 250 \text{ mm}\} = \min\{2 \cdot 80; 250\} = \min\{160; 250\} = 160 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 150 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 150 \text{ mm} < s_{max} = 160 \text{ mm} \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

- ROZDĚLOVACÍ VÝZTUŽ

$$a_{s,r} = 0,2 \cdot a_s = 0,2 \cdot 1,885 \cdot 10^{-4} = 3,77 \cdot 10^{-5} m^2$$

$$s_{r,req} = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{a_{s,req} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,006^2}{3,77 \cdot 10^{-5} \cdot 4} = 0,750 \text{ m}$$

$$s_{r,max} = \min\{3 \cdot h_d; 400 \text{ mm}\} = \min\{3 \cdot 80; 400 \text{ mm}\} = \min\{240; 400 \text{ mm}\} = \\ = 240 \text{ mm}$$

NÁVRH: KARI SÍŤ ø6 mm – 150x150 mm [$a_s = 1,885 \cdot 10^{-4} m^2$] VYHOVÍ

- KOTEVNÍ DÉLKA

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = \frac{1,0 \cdot 1,5}{1,5} = 1,0 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,25 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{6}{4} \cdot \frac{434,78}{2,25} = 289,86 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 290 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 100 \text{ mm}\} = \max\{0,3 \cdot 289,86; 10 \cdot 6; 100\} = \\ = \max\{86,96; 60; 100\} = 100 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = 100 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 290 \text{ mm} > l_{b,min} = 100 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

H) NÁVRH VÝZTUŽE – ZÁPORNÝ OHYBOVÝ MOMENT

$$m_{Ed} = -2,77 \text{ kNm/m}$$

$$h_d = 80 \text{ mm}$$

$$\emptyset = 6 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 20 \text{ mm}$$

$$d = h_d - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} = 80 - 20 - \frac{6}{2} = 57 \text{ mm}$$

$$a_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot f_{yd} \cdot d} = \frac{2,77 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot 0,057} = 1,242 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$s_{req} = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{a_{s,req} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,006^2}{1,242 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,2277 \text{ m} \rightarrow s = \mathbf{150 \text{ mm}}$$

$$a_s = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{s \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,006^2}{0,1 \cdot 4} = 1,885 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

NÁVRH: KARI SÍŤ $\emptyset 6 \text{ mm} - 150 \times 150 \text{ mm}$ [$a_s = 1,885 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$]

I) POSOUZENÍ VÝZTUŽE – ZÁPORNÝ OHYBOVÝ MOMENT

$$x = \frac{a_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{1,885 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,0 \cdot 13,33 \cdot 10^6} = 0,0077 \text{ m}$$

$$m_{Rd} = a_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x)$$

$$= 1,885 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot (0,057 - 0,4 \cdot 0,0077) =$$

$$= 4,42 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Rd} = 4,42 \text{ kNm/m} \geq m_{Ed} = 2,77 \text{ kNm/m}$$

VYHOVÍ

J) KONSTRUKČNÍ ZÁSADY

- MINIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$a_{s,min} = \max \left\{ 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \right\} = \max \left\{ 0,26 \cdot \frac{2,2}{500} \cdot 1,0 \cdot 0,057 \right\} =$$

$$= \max \left\{ 6,52 \cdot 10^{-5} \right\} = 7,41 \cdot 10^{-5} m^2$$

$$a_{s,min} = 7,41 \cdot 10^{-5} m^2 < a_s = 1,885 \cdot 10^{-4} m^2$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$a_{s,max} = 0,04 \cdot A_s = 0,04 \cdot 1,0 \cdot 0,08 = 3,2 \cdot 10^{-3} m^2$$

$$a_{s,max} = 3,2 \cdot 10^{-3} m^2 > a_s = 1,885 \cdot 10^{-4} m^2$$

VYHOVÍ

- OMEZENÍ VÝŠKY TLAČENÉ OBLASTI

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,0077}{0,057} = 0,14 < \xi_{max} = 0,45$$

VYHOVÍ

- MINIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{min} = \max\{k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20 \text{ mm}\} = \max\{1,2 \cdot 6; 16 + 5; 20 \text{ mm}\} =$$

$$= \max\{7,2; 21; 20 \text{ mm}\} = 21 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = s - \emptyset = 150 - 6 = 144 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = 144 \text{ mm} > s_{min} = 21 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{max} = \min\{2 \cdot h; 250 \text{ mm}\} = \min\{2 \cdot 80; 250\} = \min\{160; 250\} = 160 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 150 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 150 \text{ mm} < s_{max} = 160 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- ROZDĚLOVACÍ VÝZTUŽ

$$a_{s,r} = 0,2 \cdot a_s = 0,2 \cdot 1,885 \cdot 10^{-4} = 3,77 \cdot 10^{-5} m^2$$

$$s_{r,req} = \frac{\pi \cdot \varnothing^2}{a_{s,req} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,006^2}{3,77 \cdot 10^{-5} \cdot 4} = 0,750 \text{ m}$$

$$s_{r,max} = \min\{3 \cdot h_d ; 400 \text{ mm}\} = \min\{3 \cdot 80 ; 400 \text{ mm}\} = \min\{240 ; 400 \text{ mm}\} = 240 \text{ mm}$$

NÁVRH: KARI SÍŤ ø6 mm – 150x150 mm [$a_s = 1,885 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$] VYHOVÍ

- KOTEVNÍ DÉLKA

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = \frac{1,0 \cdot 1,5}{1,5} = 1,0 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,25 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\varnothing}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{6}{4} \cdot \frac{434,78}{2,25} = 289,86 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 290 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \varnothing; 100 \text{ mm}\} = \max\{0,3 \cdot 289,86; 10 \cdot 6; 100\} = \max\{86,96; 60; 100\} = 100 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = 100 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 290 \text{ mm} > l_{b,min} = 100 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

Pro danou konstrukci a dané zatížení vyhoví deska tloušťky 80 mm z betonu C20/25, vyztužená KARI sítí B500B Ø6 mm – 150x150 mm na kladný i záporný ohybový moment s krytím 20 mm s kotevními délkami 290 mm a 100 mm.

5.5 ŽB střešní trám

Vnitřní síly k výpočtu desky nalezneme v kapitole 4.4.5.

A) ROZMĚRY TRÁMU

$$200 \times 400 \text{ mm}$$

B) BETON

$$C20/25 - f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,5} = 13,33 \text{ MPa}$$

C) OCEL

$$B500B - f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$$

D) KRYTÍ

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\}$$

$$\Delta c_{dev} = 5 \sim 10 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} = \emptyset = 12 \text{ mm}$$

$$c_{min,dur} = 15 \text{ mm (XC1,S4)}$$

$$c_{min,1} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\} = \max\{12; 15; 10\} = 15 \text{ mm}$$

$$c_{min,tř} = \max\{c_{min,tř}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\} = \max\{8; 15; 10\} = 15 \text{ mm}$$

$$c_{min,2} = c_{min,tř} + \emptyset_{TŘ} = 15 + 6 = 21 \text{ mm}$$

$$c_{min} = 21 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 9 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 21 + 9 = 30 \text{ mm}$$

E) NÁVRH VÝZTUŽE – Kladný ohybový moment

$$M_{Ed} = 37,58 \text{ kNm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$\emptyset = 12 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 30 \text{ mm}$$

$$d = h - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} = 400 - 30 - \frac{12}{2} = 364 \text{ mm}$$

$$A_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot f_{yd} \cdot d} = \frac{37,58 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot 0,364} = 2,638 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$n = \frac{A_{s,req} \cdot 4}{\pi \cdot \emptyset^2} = \frac{2,638 \cdot 10^{-4} \cdot 4}{\pi \cdot 0,012^2} = 2,33 \text{ ks} \rightarrow \mathbf{n = 3 \text{ ks}}$$

$$A_s = \frac{n \cdot \pi \cdot \emptyset^2}{4} = \frac{3 \cdot \pi \cdot 0,012^2}{4} = 3,393 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

NÁVRH: 3x Ø12 mm B500B [$a_s = 3,393 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$]

F) POSOUZENÍ VÝZTUŽE – Kladný ohybový moment

$$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w \leq b$$

$$b_{eff,i} = 0,2 \cdot b_i + 0,1 \cdot l_0 \leq 0,2 \cdot l_0$$

$$l = 6 \text{ m} \rightarrow l_0 = 0,85 \cdot l = 0,85 \cdot 6 = 5,1 \text{ m}$$

$$b_{eff,1} = 0,2 \cdot b_1 + 0,1 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 1,15 + 0,1 \cdot 5,1 = 0,74 \text{ m} \leq 0,2 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 5,1 = 1,02 \text{ m}$$

$$b_{eff,2} = 0,2 \cdot b_2 + 0,1 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 1,15 + 0,1 \cdot 5,1 = 0,74 \text{ m} \leq 0,2 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 5,1 = 1,02 \text{ m}$$

$$b_w = 0,2 \text{ m}$$

$$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w = 0,74 + 0,74 + 0,2 = \mathbf{1,68 \text{ m}} \leq b = 2,5 \text{ m}$$

$$x = \frac{a_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b_{eff} \cdot f_{cd}} = \frac{3,393 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,68 \cdot 13,33 \cdot 10^6} = 0,0082 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= a_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x) = \\ &= 3,393 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot (0,364 - 0,4 \cdot 0,0082) = \\ &= 48,19 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\underline{M_{Rd} = 53,21 \text{ kNm} > M_{Ed} = 37,58 \text{ kNm}}$$

VYHOVÍ

G) KONSTRUKČNÍ ZÁSADY

- MINIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$\begin{aligned} A_{s,min} &= \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \\ 0,0013 \cdot b_t \cdot d \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{2,2}{500} \cdot 0,2 \cdot 0,364 \\ 0,0013 \cdot 0,2 \cdot 0,364 \end{array} \right\} = \\ &= \max \left\{ \begin{array}{l} 8,33 \cdot 10^{-5} \\ 9,46 \cdot 10^{-5} \end{array} \right\} = 9,46 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s,min} = 9,46 \cdot 10^{-5} m^2 < A_s = 3,393 \cdot 10^{-4} m^2 \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

- MAXIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_s = 0,04 \cdot 0,2 \cdot 0,4 = 3,2 \cdot 10^{-3} m^2$$

$$A_{s,max} = 3,2 \cdot 10^{-3} m^2 > A_s = 3,393 \cdot 10^{-4} m^2 \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

- OMEZENÍ VÝŠKY TLAČENÉ OBLASTI

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,0082}{0,364} = 0,02 < \xi_{max} = 0,45 \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

- MINIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{min} = \max\{k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20 \text{ mm}\} = \max\{1,2 \cdot 12; 16 + 5; 20 \text{ mm}\} = \\ = \max\{14,4; 21; 20 \text{ mm}\} = 21 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = \frac{b_w - 2 \cdot c_{nom} - n \cdot \emptyset}{n - 1} = \frac{200 - 2 \cdot 30 - 3 \cdot 12}{3 - 1} = 52 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = 52 \text{ mm} > s_{min} = 21 \text{ mm} \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

- MAXIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{max} = \min\{2 \cdot h; 250 \text{ mm}\} = \min\{2 \cdot 400; 250\} = \min\{800; 250\} = 250 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 64 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 64 \text{ mm} < s_{max} = 250 \text{ mm} \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

- KOTEVNÍ DÉLKA

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = \frac{1,0 \cdot 1,5}{1,5} = 1,0 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,25 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{12}{4} \cdot \frac{434,78}{2,25} = 579,71 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 580 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 100 \text{ mm}\} = \max\{0,3 \cdot 579,71; 10 \cdot 12; 100\} = \\ = \max\{173,91; 120; 100\} = 173,91 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = 180 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 580 \text{ mm} > l_{b,min} = 180 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

H) NÁVRH VÝZTUŽE – ZÁPORNÝ OHYBOVÝ MOMENT

$$M_{Ed} = -50,64 \text{ kNm}$$

$$h = 400 \text{ mm}$$

$$\emptyset = 12 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 30 \text{ mm}$$

$$d_1 = h - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} = 400 - 30 - \frac{12}{2} = 364 \text{ mm}$$

$$d_2 = h - c_{nom,desky} - \emptyset_{desky} - \frac{\emptyset}{2} = 400 - 20 - 6 - \frac{12}{2} = 368 \text{ mm}$$

$$d = \min\{d_1; d_2\} = \min\{364; 368\} = 364 \text{ mm}$$

$$A_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot f_{yd} \cdot d} = \frac{50,64 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot 0,364} = 3,555 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$n = \frac{A_{s,req} \cdot 4}{\pi \cdot \emptyset^2} = \frac{3,555 \cdot 10^{-4} \cdot 4}{\pi \cdot 0,012^2} = 3,14 \text{ ks} \rightarrow \mathbf{n = 4 \text{ ks}}$$

$$A_s = \frac{n \cdot \pi \cdot \emptyset^2}{4} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 0,012^2}{4} = 4,524 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

NÁVRH: 4x ø12 mm B500B [$a_s = 4,524 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$]

I) POSOUZENÍ VÝZTUŽE – ZÁPORNÝ OHYBOVÝ MOMENT

$$x = \frac{a_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b_w \cdot f_{cd}} = \frac{4,524 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 0,2 \cdot 13,33 \cdot 10^6} = 0,0922 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= a_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x) = \\ &= 4,524 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot (0,364 - 0,4 \cdot 0,0922) = \\ &= 64,34 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\underline{M_{Rd} = 64,34 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 50,64 \text{ kNm}}$$

VYHOVÍ

J) KONSTRUKČNÍ ZÁSADY

- MINIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$\begin{aligned} A_{s,min} &= \max \left\{ \frac{0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d}{0,0013 \cdot b_t \cdot d} \right\} = \max \left\{ \frac{0,26 \cdot \frac{2,2}{500} \cdot 0,2 \cdot 0,363}{0,0013 \cdot 0,2 \cdot 0,363} \right\} \\ &= \max \left\{ \frac{8,33 \cdot 10^{-5}}{9,46 \cdot 10^{-5}} \right\} = 9,46 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s,min} = 9,46 \cdot 10^{-5} m^2 < A_s = 4,524 \cdot 10^{-4} m^2 \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

- MAXIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_s = 0,04 \cdot 0,2 \cdot 0,4 = 3,2 \cdot 10^{-3} m^2$$

$$A_{s,max} = 3,2 \cdot 10^{-3} m^2 > A_s = 4,524 \cdot 10^{-4} m^2 \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

- OMEZENÍ VÝŠKY TLAČENÉ OBLASTI

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,0922}{0,364} = 0,25 < \xi_{max} = 0,45 \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

- MINIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{min} = \max\{k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20 \text{ mm}\} = \max\{1,2 \cdot 12; 16 + 5; 20 \text{ mm}\} = \\ = \max\{14,4; 21; 20 \text{ mm}\} = 21 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = \frac{b_w - 2 \cdot c_{nom} - n \cdot \emptyset}{n - 1} = \frac{200 - 2 \cdot 30 - 4 \cdot 12}{4 - 1} = 30,67 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = 30,67 \text{ mm} > s_{min} = 21 \text{ mm} \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

- MAXIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{max} = \min\{2 \cdot h; 250 \text{ mm}\} = \min\{2 \cdot 400; 250\} = \min\{800; 250\} = 250 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 42,67 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 42,67 \text{ mm} < s_{max} = 250 \text{ mm} \quad \underline{\text{VYHOVÍ}}$$

- KOTEVNÍ DÉLKA

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = \frac{1,0 \cdot 1,5}{1,5} = 1,0 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,25 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{12}{4} \cdot \frac{434,78}{2,25} = 579,71 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 580 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 100 \text{ mm}\} = \max\{0,3 \cdot 579,71; 10 \cdot 12; 100\} = \\ = \max\{173,91; 120; 100\} = 202,90 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = 180 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 580 \text{ mm} > l_{b,min} = 180 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

K) NÁVRH TRÁMU NA SMYK

$$V_{Ed} = 48,61 \text{ kN}$$

- NÁVRHOVÁ ÚNOSNOST VE SMYKU BEZ SMYKOVÉ VÝZTUŽE

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{364}} = 1,741 \leq 2,0$$

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{4,524 \cdot 10^{-4}}{0,2 \cdot 0,364} = 0,00621 \leq 0,02$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,c} &= [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d = \\ &= [0,12 \cdot 1,741 \cdot (100 \cdot 0,00621 \cdot 20)^{1/3} + 0] \cdot 0,2 \cdot 0,364 = \\ &= 0,03524 \text{ MN} = 35,24 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{Rd,c} = 35,24 \text{ kN} \not\geq V_{Ed} = 48,61 \text{ kN} \dots \text{musíme navrhnout smykovou výztuž}$$

- MINIMÁLNÍ SMYKOVÁ ÚNOSNOST BEZ SMYKOVÉ VÝZTUŽE

$$V_{Rd,c,min} = v_{min} \cdot b_w \cdot d$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,741^{\frac{3}{2}} \cdot (20 \cdot 10^6)^{\frac{1}{2}} = 359,65 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c,min} = v_{min} \cdot b_w \cdot d = 359,65 \cdot 0,2 \cdot 0,364 = 26,18 \text{ kN} \dots \text{neuvažujeme}$$

NÁVRH: DVOUSTŘÍŽNÝ TŘMÍNEK ø6 mm B500B

- POSOUVAJÍCÍ SÍLA, KTEROU PŘENESE SMYKOVÁ VÝZTUŽ NA MEZI KLUZU

$$V_{Rd,s} = A_{sw} \cdot \frac{1,0}{s_l} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$$

$$A_{sw} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{\emptyset^2}{4} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{0,006^2}{4} = 5,655 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$s_l = 0,15 \text{ m}$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 0,364 = 0,3276 \text{ m}$$

$$f_{ywd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$\theta = 45^\circ, \cotg \theta = 1$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,s} &= A_{sw} \cdot \frac{1,0}{s_l} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cotg \theta = 5,655 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1,0}{0,15} \cdot 0,3276 \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot 1 \\ &= 53697 \text{ N} = 53,70 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{Rd,s} = 53,70 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 48,61 \text{ kN}$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ ÚNOSNOST VE SMYKU

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot \frac{f_{cd}}{\cotg \theta + \tg \theta}$$

$$v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{20}{250}\right) = 0,552$$

$$\theta = 45^\circ$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,max} &= \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot \frac{f_{cd}}{\cotg \theta + \tg \theta} = 1,0 \cdot 0,2 \cdot 0,3276 \cdot 0,552 \cdot \frac{13,33 \cdot 10^6}{1+1} = \\ &241114 \text{ N} = 241,11 \text{ kN} \dots \text{neuvažujeme} \end{aligned}$$

L) KONSTRUKČNÍ ZÁSADY

- MINIMÁLNÍ PLOCHA SMYKOVÉ VÝZTUŽE, MINIMÁLNÍ STUPEŇ VÝZTUŽENÍ SMYK. VÝZT.

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{s_l \cdot b_w \cdot \sin \alpha} \geq \rho_{sw,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$$

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{s_l \cdot b_w \cdot \sin \alpha} = \frac{5,655 \cdot 10^{-5}}{0,15 \cdot 0,2 \cdot \sin 90^\circ} = 1,88 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{sw,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{20}}{500} = 7,16 \cdot 10^{-4}$$

$$\rho_{sw} = 1,88 \cdot 10^{-3} \geq \rho_{sw,min} = 7,16 \cdot 10^{-4}$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ OSOVÁ VZDÁLENOST MEZI VĚTVEMI TŘMÍNKU

$$s_t = b_w - 2 \cdot c_{nom} + \phi_{sw} = 200 - 2 \cdot 30 + 6 = 146 \text{ mm}$$

$$s_{t,max} = 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 364 = 273 \text{ mm}$$

$$s_t = 146 \text{ mm} \leq s_{t,max} = 273 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ OSOVÁ VZDÁLENOST MEZI TŘMÍNKY

$$s_l = 150 \text{ mm}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$s_{l,max} = 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cotg \alpha) = 0,75 \cdot 363 \cdot (1 + \cotg 90^\circ) = 273 \text{ mm}$$

$$s_l = 150 \text{ mm} \leq s_{l,max} = 273 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

Pro danou konstrukci a dané zatížení vyhoví trám rozměru 200x400 mm z betonu C20/25, vyztužený na kladný moment 3x Ø12 mm B500B a na záporný ohybový moment 4x Ø12 mm B500B s krytím 30 mm s kotevními délkami 580 mm a 180 mm. Pro přenos smykového namáhání vyhoví 2-střižné třmínky Ø6 mm po 150 mm z oceli B500B.

5.6 ŽB střešní průvlak

Vnitřní síly k výpočtu desky nalezneme v kapitole 4.5.8 – ŽB rám bez vlivu poddolování.

A) ROZMĚRY TRÁMU

$$400 \times 1000 \text{ mm}$$

B) BETON

$$C20/25 - f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,5} = 13,33 \text{ MPa}$$

C) OCEL

$$B500B - f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$$

D) KRYTÍ

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\}$$

$$\Delta c_{dev} = 5 \sim 10 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} = \emptyset = 22 \text{ mm}$$

$$c_{min,dur} = 15 \text{ mm (XC1,S4)}$$

$$c_{min,1} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\} = \max\{22; 15; 10\} = 22 \text{ mm}$$

$$c_{min,tř} = \max\{c_{min,tř}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\} = \max\{8; 15; 10\} = 15 \text{ mm}$$

$$c_{min,2} = c_{min,tř} + \emptyset_{TŘ} = 15 + 8 = 23 \text{ mm}$$

$$c_{min} = 23 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 7 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 23 + 7 = 30 \text{ mm}$$

E) NÁVRH VÝZTUŽE – MAXIMÁLNÍ Kladný OHYBOVÝ MOMENT V POLI

$$M_{Ed} = 655,60 \text{ kNm}$$

$$h = 1000 \text{ mm}$$

$$\emptyset = 22 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 30 \text{ mm}$$

$$d = h - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} = 1000 - 30 - \frac{22}{2} = 959 \text{ mm}$$

$$A_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot f_{yd} \cdot d} = \frac{655,60 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot 0,959} = 1,747 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$n = \frac{A_{s,req} \cdot 4}{\pi \cdot \emptyset^2} = \frac{1,747 \cdot 10^{-3} \cdot 4}{\pi \cdot 0,022^2} = 4,60 \text{ ks} \rightarrow \mathbf{n = 5 \text{ ks}}$$

$$A_s = \frac{n \cdot \pi \cdot \emptyset^2}{4} = \frac{5 \cdot \pi \cdot 0,022^2}{4} = 1,901 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

NÁVRH: 5x Ø22 mm B500B [$a_s = 1,901 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$]

F) POSOUZENÍ VÝZTUŽE – MAXIMÁLNÍ Kladný OHYBOVÝ MOMENT V POLI

$$x = \frac{a_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b_w \cdot f_{cd}} = \frac{1,901 \cdot 10^{-3} \cdot 434,78 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 13,33 \cdot 10^6} = 0,1937 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = a_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 1,901 \cdot 10^{-3} \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot (0,959 - 0,4 \cdot 0,1937) \\ = 728,47 \text{ kNm}$$

$$\underline{M_{Rd} = 728,47 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 655,60 \text{ kNm}}$$

VYHOVÍ

G) KONSTRUKČNÍ ZÁSADY

- MINIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \\ 0,0013 \cdot b_t \cdot d \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{2,2}{500} \cdot 0,4 \cdot 0,959 \\ 0,0013 \cdot 0,4 \cdot 0,959 \end{array} \right\} =$$
$$= \max \left\{ \begin{array}{l} 4,39 \cdot 10^{-4} \\ 4,99 \cdot 10^{-4} \end{array} \right\} = 4,99 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 4,99 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < A_s = 1,901 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_s = 0,04 \cdot 0,4 \cdot 1,0 = 1,60 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 1,60 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 > A_s = 1,901 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

VYHOVÍ

- OMEZENÍ VÝŠKY TLAČENÉ OBLASTI

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,1937}{0,959} = 0,20 < \xi_{max} = 0,45$$

VYHOVÍ

- MINIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{min} = \max\{k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20 \text{ mm}\} = \max\{1,2 \cdot 22; 16 + 5; 20 \text{ mm}\} =$$
$$= \max\{26,4; 21; 20 \text{ mm}\} = 26,4 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = \frac{b_w - 2 \cdot c_{nom} - n \cdot \emptyset}{n - 1} = \frac{400 - 2 \cdot 30 - 5 \cdot 22}{5 - 1} = 57,5 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = 57,5 \text{ mm} > s_{min} = 26,4 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{max} = \min\{2 \cdot h; 250 \text{ mm}\} = \min\{2 \cdot 1000; 250\} = \min\{2000; 250\} = 250 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 79,5 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 79,5 \text{ mm} < s_{max} = 250 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- KOTEVNÍ DÉLKA

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = \frac{1,0 \cdot 1,5}{1,5} = 1,0 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,25 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{22}{4} \cdot \frac{434,78}{2,25} = 1062,80 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 1070 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 100 \text{ mm}\} = \max\{0,3 \cdot 1062,80; 10 \cdot 22; 100\} = \\ = \max\{318,84; 220; 100\} = 318,84 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = 320 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 1070 \text{ mm} > l_{b,min} = 320 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

H) NÁVRH VÝZTUŽE – ZÁPORNÝ OHYBOVÝ MOMENT NAD KRAJNÍM SLOUPEM

$$M_{Ed} = -551,27 \text{ kNm}$$

$$h = 1000 \text{ mm}$$

$$\emptyset = 22 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 30 \text{ mm}$$

$$d_1 = h - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} = 1000 - 30 - \frac{22}{2} = 959 \text{ mm}$$

$$d_2 = h - c_{nom,desky} - \emptyset_{desky} - \frac{\emptyset}{2} = 1000 - 20 - 10 - \frac{22}{2} = 959 \text{ mm}$$

$$d = \min\{d_1; d_2\} = \min\{959; 959\} = 959 \text{ mm}$$

$$A_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot f_{yd} \cdot d} = \frac{551,27 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot 0,959} = 1,469 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$n = \frac{A_{s,req} \cdot 4}{\pi \cdot \emptyset^2} = \frac{1,469 \cdot 10^{-3} \cdot 4}{\pi \cdot 0,022^2} = 3,86 \text{ ks} \rightarrow \mathbf{n = 4 \text{ ks}}$$

$$A_s = \frac{n \cdot \pi \cdot \emptyset^2}{4} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 0,022^2}{4} = 1,521 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

NÁVRH: 4x Ø22 mm B500B [$a_s = 1,521 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$]

I) POSOUZENÍ VÝZTUŽE – ZÁPORNÝ OHYBOVÝ MOMENT NAD KRAJNÍM SLOUPEM

$$x = \frac{a_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b_w \cdot f_{cd}} = \frac{1,521 \cdot 10^{-3} \cdot 434,78 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 13,33 \cdot 10^6} = 0,1549 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = a_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 1,901 \cdot 10^{-3} \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot (0,959 - 0,4 \cdot 0,1549) \\ = 593,02 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 593,02 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 551,27 \text{ kNm}$$

VYHOVÍ

J) KONSTRUKČNÍ ZÁSADY

- MINIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \\ 0,0013 \cdot b_t \cdot d \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{2,2}{500} \cdot 0,4 \cdot 0,959 \\ 0,0013 \cdot 0,4 \cdot 0,959 \end{array} \right\} \\ = \max \left\{ \begin{array}{l} 4,39 \cdot 10^{-4} \\ 4,99 \cdot 10^{-4} \end{array} \right\} = 4,99 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 4,99 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < A_s = 1,521 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_s = 0,04 \cdot 0,4 \cdot 1,0 = 1,60 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 1,60 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 > A_s = 1,521 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

VYHOVÍ

- OMEZENÍ VÝŠKY TLAČENÉ OBLASTI

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,1549}{0,959} = 0,16 < \xi_{max} = 0,45$$

VYHOVÍ

- MINIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{min} = \max\{k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20 \text{ mm}\} = \max\{1,2 \cdot 22; 16 + 5; 20 \text{ mm}\} = \\ = \max\{26,4; 21; 20 \text{ mm}\} = 26,4 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = \frac{b_w - 2 \cdot c_{nom} - n \cdot \emptyset}{n - 1} = \frac{400 - 2 \cdot 30 - 4 \cdot 22}{4 - 1} = 84 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = 84 \text{ mm} > s_{min} = 26,4 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{max} = \min\{2 \cdot h; 250 \text{ mm}\} = \min\{2 \cdot 1000; 250\} = \min\{2000; 250\} = 250 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 79,5 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 106 \text{ mm} < s_{max} = 250 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- KOTEVNÍ DÉLKA

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = \frac{1,0 \cdot 1,5}{1,5} = 1,0 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,25 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{22}{4} \cdot \frac{434,78}{2,25} = 1062,80 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 1070 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 100 \text{ mm}\} = \max\{0,3 \cdot 1062,80; 10 \cdot 22; 100\} = \\ = \max\{318,84; 220; 100\} = 318,84 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = 320 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 1070 \text{ mm} > l_{b,min} = 320 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

K) NÁVRH PRŮVLAKU NA SMYK

$$V_{Ed} = 287,52 \text{ kN}$$

- NÁVRHOVÁ ÚNOSNOST VE SMYKU BEZ SMYKOVÉ VÝZTUŽE

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{959}} = 1,457 \leq 2,0$$

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{1,521 \cdot 10^{-3}}{0,4 \cdot 0,859} = 0,00396 \leq 0,02$$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d = \\ = [0,12 \cdot 1,457 \cdot (100 \cdot 0,00396 \cdot 20)^{1/3} + 0] \cdot 0,4 \cdot 0,959 \\ = 0,13370 \text{ MN} = 133,70 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 133,70 \text{ kN} \not\geq V_{Ed} = 287,52 \text{ kN} \dots \text{musíme navrhnout smykovou výztuž}$$

- MINIMÁLNÍ SMYKOVÁ ÚNOSNOST BEZ SMYKOVÉ VÝZTUŽE

$$V_{Rd,c,min} = v_{min} \cdot b_w \cdot d$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,457^{\frac{3}{2}} \cdot (20 \cdot 10^6)^{\frac{1}{2}} = 275,19 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c,min} = v_{min} \cdot b_w \cdot d = 275,19 \cdot 0,4 \cdot 0,959 = 105,56 \text{ kN} \dots \text{neuvažujeme}$$

NÁVRH: DVOUSTŘÍŽNÝ TŘMÍNEK Ø8 mm B500B

- POSOUVAJÍCÍ SÍLA, KTEROU PŘENESE SMYKOVÁ VÝZTUŽ NA MEZI KLUZU

$$V_{Rd,s} = A_{sw} \cdot \frac{1,0}{s_l} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cotg \theta$$

$$A_{sw} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{\emptyset^2}{4} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{0,008^2}{4} = 1,005 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$s_l = 0,1 \text{ m}$$

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 0,959 = 0,8631 \text{ m}$$

$$f_{ywd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$\theta = 45^\circ, \cotg \theta = 1$$

$$V_{Rd,s} = A_{sw} \cdot \frac{1,0}{s_l} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cotg \theta = 1,005 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{1,0}{0,1} \cdot 0,8631 \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot 1 = \\ = 377253 \text{ N} = 377,25 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} = 377,25 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 287,52 \text{ kN}$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ ÚNOSNOST VE SMYKU

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot \frac{f_{cd}}{\cotg \theta + \tg \theta}$$

$$v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{20}{250}\right) = 0,552$$

$$\theta = 45^\circ$$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot \frac{f_{cd}}{\cotg \theta + \tg \theta} = 1,0 \cdot 0,4 \cdot 0,8631 \cdot 0,552 \cdot \frac{13,33 \cdot 10^6}{1+1} =$$

$$1270483 \text{ N} = 1270,48 \text{ kN} \dots \text{neuvažujeme}$$

L) KONSTRUKČNÍ ZÁSADY

- MINIMÁLNÍ PLOCHA SMYKOVÉ VÝZTUŽE, MINIMÁLNÍ STUPEŇ VÝZTUŽENÍ SMYK. VÝZT.

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{s_l \cdot b_w \cdot \sin \alpha} \geq \rho_{sw,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$$

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{s_l \cdot b_w \cdot \sin \alpha} = \frac{1,005 \cdot 10^{-4}}{0,1 \cdot 0,4 \cdot \sin 90^\circ} = 2,51 \cdot 10^{-3}$$

$$\rho_{sw,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{20}}{500} = 7,16 \cdot 10^{-4}$$

$$\rho_{sw} = 2,51 \cdot 10^{-3} \geq \rho_{sw,min} = 7,16 \cdot 10^{-4}$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ OSOVÁ VZDÁLENOST MEZI VĚTVEMI TŘMÍNKU

$$s_t = b_w - 2 \cdot c_{nom} + \emptyset_{sw} = 400 - 2 \cdot 30 + 8 = 348 \text{ mm}$$

$$s_{t,max} = 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 959 = 719,25 \text{ mm}$$

$$s_t = 350 \text{ mm} \leq s_{t,max} = 719,25 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ OSOVÁ VZDÁLENOST MEZI TŘMÍNKY

$$s_l = 100 \text{ mm}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$s_{l,max} = 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cotg \alpha) = 0,75 \cdot 859 \cdot (1 + \cotg 90^\circ) = 719,25 \text{ mm}$$

$$s_l = 100 \text{ mm} \leq s_{l,max} = 719,25 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

Pro danou konstrukci a dané zatížení vyhoví průvlak rozměru 400x1000 mm z betonu C20/25, vyztužený na kladný moment 5x Ø22 mm B500B a na záporný ohybový moment 4x Ø22 mm B500B s krytím 30 mm s kotevnými délkami 1070 mm a 320 mm. Pro přenos smykového namáhání vyhoví 2-střížné třmínky Ø8 mm po 100 mm z oceli B500B.

5.7 ŽB sloup

Vnitřní síly k výpočtu desky nalezneme v kapitole 4.5.8 – ŽB rám bez vlivu poddolování.

A) ROZMĚRY SLOUPU

$$400 \times 600 \text{ mm}$$

B) BETON

$$C20/25 - f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,5} = 13,33 \text{ MPa}$$

C) OCEL

$$B500B - f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$$

D) KRYTÍ

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\}$$

$$\Delta c_{dev} = 5 \sim 10 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} = \emptyset = 24 \text{ mm}$$

$$c_{min,dur} = 15 \text{ mm (XC1,S4)}$$

$$c_{min,1} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\} = \max\{24; 15; 10\} = 24 \text{ mm}$$

$$c_{min,tř} = \max\{c_{min,tř}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\} = \max\{6; 15; 10\} = 15 \text{ mm}$$

$$c_{min,2} = c_{min,tř} + \emptyset_{TŘ} = 15 + 6 = 21 \text{ mm}$$

$$c_{min} = 24 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 6 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 24 + 6 = 30 \text{ mm}$$

E) ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE ZATÍŽENÍ STŘEDNÍ DOLNÍ SLOUP

$$CO244: N_{max} = -887,11 \text{ kN}$$

$$M_{příslušné} = 0 \text{ kN}$$

$$CO249: M_{max} = 165,64 \text{ kNm}$$

$$N_{příslušné} = -662,96 \text{ kN}$$

G) KONSTRUKČNÍ ZÁSADY

A) PODÉLNÁ VÝZTUŽ

- MINIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$A_{s,min} = \frac{0,1 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,1 \cdot 887,11 \cdot 10^3}{434,78 \cdot 10^6} = 2,040 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$\Sigma A_s = A_{s1} + A_{s2} = 2,714 \cdot 10^{-3} + 2,714 \cdot 10^{-3} = 5,429 \cdot 10^{-3} m^2$$

$$A_{s,min} = 2,040 \cdot 10^{-4} m^2 < \Sigma A_s = 5,429 \cdot 10^{-3} m^2$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,4 \cdot 0,6 = 9,6 \cdot 10^{-3} m^2$$

$$A_{s,max} = 9,6 \cdot 10^{-3} m^2 > \Sigma A_s = 5,429 \cdot 10^{-3} m^2$$

VYHOVÍ

- MINIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{min} = \max\{k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20 \text{ mm}\} = \max\{1,2 \cdot 24; 16 + 5; 20 \text{ mm}\} = \\ = \max\{28,8; 21; 20 \text{ mm}\} = 28,8 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = \frac{b - 2 \cdot c_{nom} - n \cdot \emptyset}{n - 1} = \frac{400 - 2 \cdot 30 - 6 \cdot 24}{6 - 1} = 39,2 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = 39,2 \text{ mm} > s_{min} = 28,8 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{max} = 400 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 39,2 + 24 = 63,2 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 63,2 \text{ mm} < s_{max} = 400 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

B) PŘÍČNÁ VÝZTUŽ – TŘMÍNKY

- VELIKOST TŘMÍNKU

$$\emptyset_{sw} = \max\left\{\emptyset; \frac{24}{4} = 6 \text{ mm}\right\} = 6 \text{ mm}$$

- MAXIMÁLNÍ VZDÁLENOST TŘMÍNKŮ

$$s_{max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 15 \cdot \varnothing = 15 \cdot 24 = 360 \text{ mm} \\ b = 400 \text{ mm} \\ h = 600 \text{ mm} \\ 300 \text{ mm} \end{array} \right\} = 300 \text{ mm}$$

- MAXIMÁLNÍ VZDÁLENOST TŘMÍNKŮ POD DESKOU

$$0,6 \cdot s_{max} = 0,6 \cdot 300 = 180 \text{ mm}$$

NÁVRH: TŘMÍNKY Ø6/300, POD DESKOU Ø6/180, OCEL B500B

H) INTERAKČNÍ DIAGRAM

- BOD „0“

$$\varepsilon_{c2} = 0,2 \text{ ‰} = 0,002$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\sigma_s = \varepsilon_{c2} \cdot E_s = 0,002 \cdot 200 \cdot 10^9 = 400 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 400 \text{ MPa} \leq f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} N_{Rd,0} &= -(b \cdot h \cdot \eta \cdot f_{cd} + \Sigma A_s \cdot \sigma_s) = \\ &= -(0,4 \cdot 0,6 \cdot 1,0 \cdot 13,33 \cdot 10^6 + 5,429 \cdot 10^{-3} \cdot 420 \cdot 10^6) = \\ &= -5371468,84 \text{ N} = 5371,47 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd,0} &= (A_{s2} \cdot z_2 - A_{s1} \cdot z_1) \cdot \sigma_s \\ &= (2,714 \cdot 10^{-3} \cdot 0,258 - 2,714 \cdot 10^{-3} \cdot 0,258) \cdot 400 \cdot 10^6 = 0 \text{ Nm} \\ &= 0 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- BOD „1“

$$\begin{aligned} N_{Rd,1} &= -(\lambda \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot f_{yd}) = \\ &= -(0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,558 \cdot 1,0 \cdot 13,33 \cdot 10^6 + 2,714 \cdot 10^{-3} \cdot 434,78 \cdot 10^6) \\ &= -3560946,11 \text{ N} = -3560,95 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd,1} &= \lambda \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - \lambda \cdot d) + A_{s2} \cdot z_2 \cdot f_{yd} = \\ &= 0,8 \cdot 0,6 \cdot 0,558 \cdot 1,0 \cdot 13,33 \cdot 10^6 \cdot 0,5 \cdot (0,6 - 0,8 \cdot 0,558) \\ &\quad + 2,714 \cdot 10^{-3} \cdot 0,258 \cdot 434,78 \cdot 10^6 = 487323,14 \text{ Nm} \\ &= 487,32 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- BOD „2“

$$\xi_{bal,1} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617$$

$$\begin{aligned} N_{Rd,2} &= -(\lambda \cdot \xi_{bal,1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot f_{yd} - A_{s1} \cdot f_{yd}) = \\ &= -(0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,4 \cdot 0,558 \cdot 1,0 \cdot 13,33 \cdot 10^6 + 2,714 \cdot 10^{-3} \\ &\quad \cdot 434,78 \cdot 10^6 - 2,714 \cdot 10^{-3} \cdot 434,78 \cdot 10^6) = -1468616,09 \text{ N} \\ &= -1468,62 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd,2} &= \lambda \cdot \xi_{bal,1} \cdot b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - \lambda \cdot \xi_{bal,1} \cdot d) + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_2 + A_{s1} \cdot f_{yd} \\ &\quad \cdot z_1 = \\ &= 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,4 \cdot 0,558 \cdot 1,0 \cdot 13,33 \cdot 10^6 \cdot 0,5 \\ &\quad \cdot (0,6 - 0,8 \cdot 0,617 \cdot 0,558) + 2,714 \cdot 10^{-3} \cdot 0,258 \cdot 434,78 \cdot 10^6 \\ &\quad + 2,714 \cdot 10^{-3} \cdot 0,258 \cdot 434,78 \cdot 10^6 = 847337,11 \text{ Nm} = 847,34 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- BOD „3“

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{2,714 \cdot 10^{-3} \cdot 434,78 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 13,33 \cdot 10^6} = 0,2766 \text{ m}$$

$$N_{Rd,3} = 0 \text{ N} = 0 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd,3} &= A_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x) \\ &= 2,714 \cdot 10^{-3} \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot (0,558 - 0,4 \cdot 0,2766) \\ &= 527951,70 \text{ Nm} = 527,95 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- BOD „4“

$$N_{Rd,4} = F_{s1} = 1180146 \text{ N} = 118,01 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,4} = F_{s1} \cdot z_1 = 1180146 \cdot 0,258 = 304477,70 \text{ Nm} = 304,48 \text{ kNm}$$

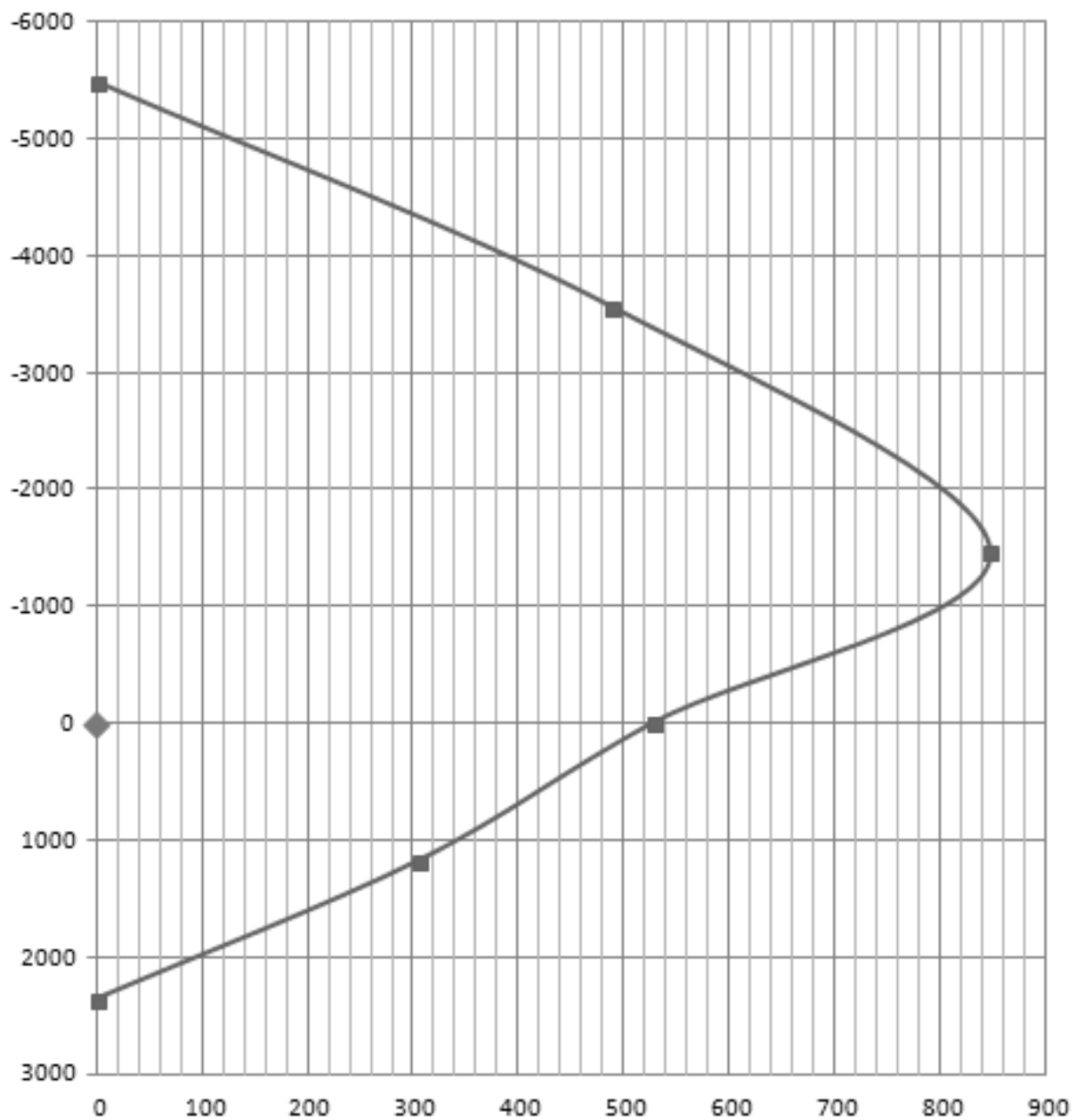
- BOD „5“

$$N_{Rd,5} = F_{s1} + F_{s2} = 1180146 + 1180146 = 2360292,22 \text{ N} = 2360,29 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,5} = F_{s1} \cdot z_1 - F_{s2} \cdot z_2 = 1180146 \cdot 0,258 - 1180146 \cdot 0,258 = 0 \text{ Nm}$$

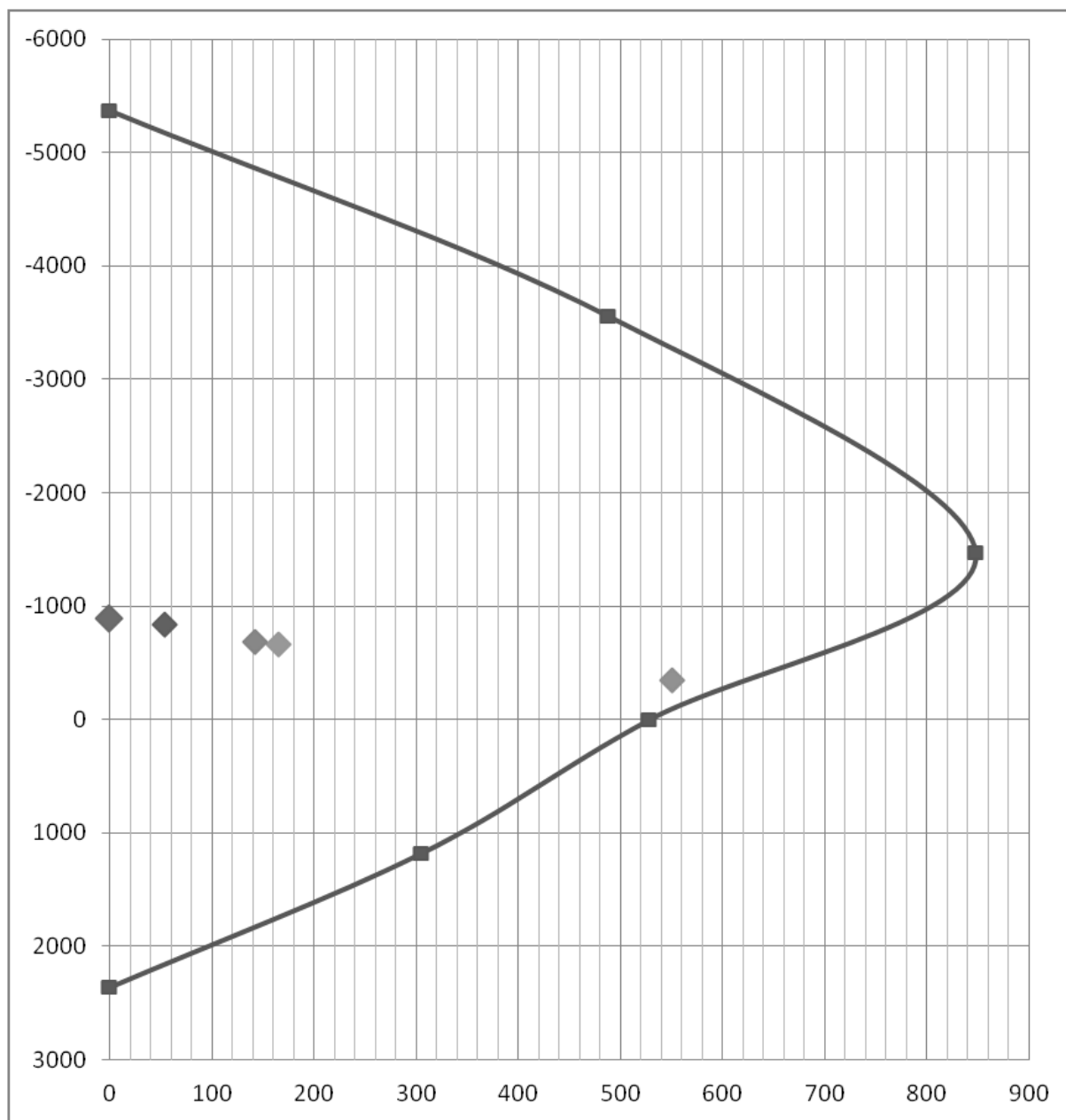
$$= 0 \text{ kNm}$$

VYKRESLENÍ INTERAKČNÍHO DIAGRAMU:



Obr. 5-2: Interakční diagram

I) POSOUZENÍ SLOUPU



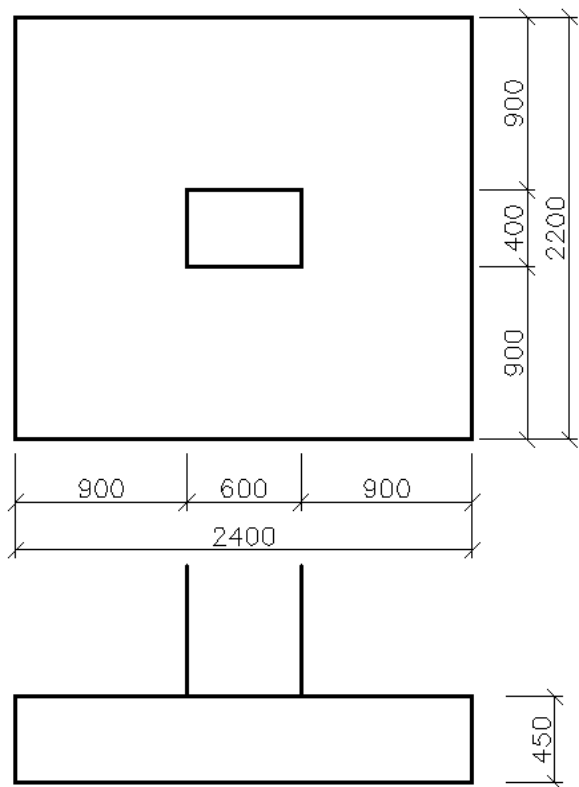
VYHOVÍ

Pro danou konstrukci a dané zatížení vyhoví sloup rozměru 400x600 mm z betonu C20/25, vyztužený oboustranně 6x Ø24 mm B500B s krytím 30 mm s kotevními délkami 1160 mm a 350 mm. Třmínky Ø6 B500B po 300 mm, pod deskou Ø6 B500B po 180 mm.

5.8 ŽB patka

Vnitřní síly k výpočtu desky nalezneme v bodě 4.5.8 – ŽB rám bez vlivu poddolování.

A) ROZMĚRY PATKY



$$\sigma = \frac{N}{A} \rightarrow A = \frac{N}{\sigma}$$

$$N_{Ed} = 887,11 \text{ kN}$$

$$\sigma = R_{dt} = 200 \text{ kPa}$$

$$A = \frac{N}{\sigma} = \frac{887,11}{200} = 4,44 \text{ m}^2 \rightarrow a = b$$

$$= \sqrt{A} = \sqrt{4,19}$$

$$= 2,11 \text{ m}$$

$$h \geq 0,5 \cdot a = 0,5 \cdot 0,9 = 0,45 \text{ m}$$

Obr. 5-3: Půdorys a řez patky

B) ZATÍŽENÍ PATKY

1. CO 249



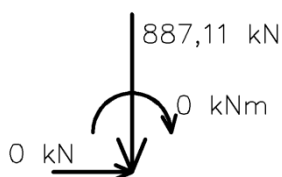
$$e_x = \frac{105,58 + 60,27 \cdot 0,45}{698,72} = 0,190 \text{ m}$$

$$2 \cdot e_x = 2 \cdot 0,190 = 0,380 \text{ m}$$

$$A_{eff} = (2,4 - 2 \cdot e_x) \cdot 2,2 = (2,4 - 0,380) \cdot 2,2 = 4,444 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{zs} = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{698,72}{4,444} = 157,23 \text{ kPa}$$

2. CO 244



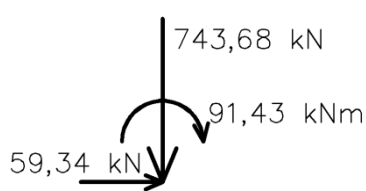
$$e_x = \frac{0+0}{887,11} = 0 \text{ m}$$

$$2 \cdot e_x = 2 \cdot 0 = 0 \text{ m}$$

$$A_{eff} = (2,4 - 2 \cdot e_x) \cdot 2,2 = (2,4 - 0) \cdot 2,2 = 4,8 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{zs} = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{887,11}{4,8} = 168,01 \text{ kPa}$$

3. CO 239



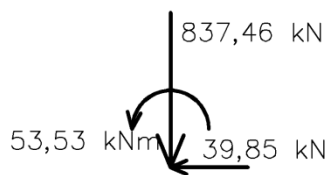
$$e_x = \frac{91,43 + 59,34 \cdot 0,45}{743,68} = 0,159 \text{ m}$$

$$2 \cdot e_x = 2 \cdot 0,159 = 0,318 \text{ m}$$

$$A_{eff} = (2,4 - 2 \cdot e_x) \cdot 2,2 = (2,4 - 0,318) \cdot 2,2 = 4,580 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{zs} = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{743,68}{4,580} = 162,36 \text{ kPa}$$

4. CO 160



$$e_x = \frac{53,53 + 39,85 \cdot 0,45}{837,46} = 0,088 \text{ m}$$

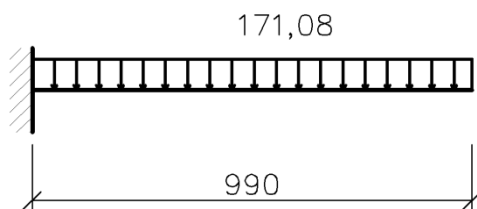
$$2 \cdot e_x = 2 \cdot 0,088 = 0,175 \text{ m}$$

$$A_{eff} = (2,4 - 2 \cdot e_x) \cdot 2,2 = (2,4 - 0,175) \cdot 2,2 = 4,895 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{zs} = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{837,46}{4,895} = 171,08 \text{ kPa}$$

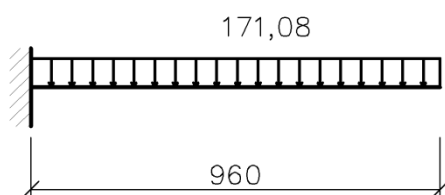
C) OHYBOVÉ MOMENTY

1. směr osy x



$$\begin{aligned} m_{Ed,x} &= \frac{1}{2} \cdot \sigma_{zs} \cdot (a + 0,15 \cdot c)^2 = \\ &= \frac{1}{2} \cdot 171,08 \cdot (0,9 + 0,15 \cdot 0,6)^2 = \\ &= 83,84 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

2. směr osy y



$$\begin{aligned} m_{Ed,y} &= \frac{1}{2} \cdot \sigma_{zs} \cdot (a + 0,15 \cdot c)^2 = \\ &= \frac{1}{2} \cdot 171,08 \cdot (0,9 + 0,15 \cdot 0,4)^2 = \\ &= 78,83 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

D) NÁVRH VÝZTUŽE

1. BETON

$$C20/25 - f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,5} = 13,33 \text{ MPa}$$

2. OCEL

$$B500B - f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$$

3. KRYTÍ

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\}$$

$$\Delta c_{dev} = 5 \sim 10 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} = \emptyset = 8 \text{ mm}$$

$$c_{min,dur} = 25 \text{ mm (XC2,S4)}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\} = \max\{8; 25; 10\} = 25 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 5 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 25 + 5 = 30 \text{ mm}$$

4. NÁVRH VÝZTUŽE – SMĚR OSY X

$$m_{Ed} = 83,84 \text{ kNm/m}$$

$$h = 450 \text{ mm}$$

$$\emptyset = 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 30 \text{ mm}$$

$$d = h - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} = 450 - 30 - \frac{10}{2} = 415 \text{ mm}$$

$$a_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot f_{yd} \cdot d} = \frac{83,84 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot 0,415} = 5,163 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$s_{req} = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{a_{s,req} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,01^2}{5,163 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,1521 \text{ m} \rightarrow s = \mathbf{100 \text{ mm}}$$

$$a_s = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{s \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,01^2}{0,1 \cdot 4} = 7,854 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

NÁVRH: KARI SÍŤ Ø10 mm – 100x100 mm [$a_s = 7,854 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$]

5. POSOUZENÍ VÝZTUŽE – SMĚR OSY X

$$x = \frac{a_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{7,854 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,0 \cdot 13,33 \cdot 10^6} = 0,0320 \text{ m}$$

$$m_{Rd} = a_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x)$$

$$= 7,854 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot (0,415 - 0,4 \cdot 0,0320) =$$

$$= 137,34 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Rd} = 137,34 \text{ kNm/m} \geq m_{Ed} = 83,84 \text{ kNm/m}$$

VYHOVÍ

6. KONSTRUKČNÍ ZÁSADY

- MINIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$a_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \\ 0,0013 \cdot b_t \cdot d \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{2,2}{500} \cdot 1,0 \cdot 0,415 \\ 0,0013 \cdot 1,0 \cdot 0,415 \end{array} \right\} =$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} 4,75 \cdot 10^{-4} \\ 5,40 \cdot 10^{-4} \end{array} \right\} = 5,40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$a_{s,min} = 5,40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < a_s = 7,854 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$a_{s,max} = 0,04 \cdot A_s = 0,04 \cdot 1,0 \cdot 0,45 = 1,80 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$a_{s,max} = 1,80 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 > a_s = 7,854 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

VYHOVÍ

- OMEZENÍ VÝŠKY TLAČENÉ OBLASTI

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,0320}{0,415} = 0,08 < \xi_{max} = 0,45$$

VYHOVÍ

- MINIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{min} = \max\{k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20 \text{ mm}\} = \max\{1,2 \cdot 10; 16 + 5; 20 \text{ mm}\} =$$

$$= \max\{12; 21; 20 \text{ mm}\} = 21 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = s - \emptyset = 100 - 10 = 90 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = 90 \text{ mm} > s_{min} = 21 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{max} = \min\{2 \cdot h; 250 \text{ mm}\} = \min\{2 \cdot 450; 250\} = \min\{900; 250\} = 250 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 100 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 100 \text{ mm} < s_{max} = 250 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- KOTEVNÍ DÉLKA

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = \frac{1,0 \cdot 1,5}{1,5} = 1,0 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,25 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{10}{4} \cdot \frac{434,78}{2,25} = 483,09 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 490 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 100 \text{ mm}\} = \max\{0,3 \cdot 483,09; 10 \cdot 10; 100\} = \\ = \max\{144,93; 100; 100\} = 144,93 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = 150 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 490 \text{ mm} > l_{b,min} = 150 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

7. NÁVRH VÝZTUŽE – SMĚR OSY Y

$$m_{Ed} = 78,83 \text{ kNm/m}$$

$$h = 450 \text{ mm}$$

$$\emptyset = 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 30 \text{ mm}$$

$$d = h - c_{nom} - \emptyset - \frac{\emptyset}{2} = 450 - 30 - 10 - \frac{10}{2} = 405 \text{ mm}$$

$$a_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot f_{yd} \cdot d} = \frac{78,83 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot 0,405} = 4,974 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$s_{req} = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{a_{s,req} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4,974 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,1579 \text{ m} \rightarrow s = \mathbf{100 \text{ mm}}$$

$$a_s = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{s \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,01^2}{0,1 \cdot 4} = 7,854 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

NÁVRH: KARI SÍŤ Ø10 mm – 100x100 mm [$a_s = 7,854 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$]

8. POSOUZENÍ VÝZTUŽE – SMĚR OSY Y

$$x = \frac{a_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{7,854 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,0 \cdot 13,33 \cdot 10^6} = 0,0320 \text{ m}$$

$$m_{Rd} = a_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x)$$

$$= 7,854 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot (0,405 - 0,4 \cdot 0,0320) = \\ = 133,93 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Rd} = 133,93 \text{ kNm/m} \geq m_{Ed} = 78,83 \text{ kNm/m}$$

VYHOVÍ

9. KONSTRUKČNÍ ZÁSADY

- MINIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$a_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \\ 0,0013 \cdot b_t \cdot d \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{2,2}{500} \cdot 1,0 \cdot 0,405 \\ 0,0013 \cdot 1,0 \cdot 0,405 \end{array} \right\} =$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} 4,63 \cdot 10^{-4} \\ 5,27 \cdot 10^{-4} \end{array} \right\} = 5,27 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$a_{s,min} = 5,27 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < a_s = 7,854 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$a_{s,max} = 0,04 \cdot A_s = 0,04 \cdot 1,0 \cdot 0,45 = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$a_{s,max} = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 > a_s = 7,854 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

VYHOVÍ

- OMEZENÍ VÝŠKY TLAČENÉ OBLASTI

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,0320}{0,405} = 0,08 < \xi_{max} = 0,45$$

VYHOVÍ

- MINIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{min} = \max\{k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20 \text{ mm}\} = \max\{1,2 \cdot 10; 16 + 5; 20 \text{ mm}\} =$$

$$= \max\{12; 21; 20 \text{ mm}\} = 21 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = s - \emptyset = 100 - 10 = 90 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = 90 \text{ mm} > s_{min} = 21 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{max} = \min\{2 \cdot h; 250 \text{ mm}\} = \min\{2 \cdot 450; 250\} = \min\{900; 250\} = 250 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 100 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 100 \text{ mm} < s_{max} = 250 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- KOTEVNÍ DÉLKA

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = \frac{1,0 \cdot 1,5}{1,5} = 1,0 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,25 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{10}{4} \cdot \frac{434,78}{2,25} = 483,09 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 490 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 100 \text{ mm}\} = \max\{0,3 \cdot 483,09; 10 \cdot 10; 100\} = \\ = \max\{144,93; 100; 100\} = 144,93 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = 150 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 490 \text{ mm} > l_{b,min} = 150 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

10. POSOUZENÍ NA PROTLAČENÍ

- KONTROLOVANÝ (KRITICKÝ) PRŮŘEZ

$$d_{eff} = \frac{d_x + d_y}{2} = \frac{0,415 + 0,405}{2} = 0,410 \text{ m}$$

$$2 \cdot d_{eff} = 2 \cdot 410 = 820 \text{ mm}$$

- DÉLKA KRITICKÉHO OBVODU

$$u_{cr} = 0,6 + 0,4 + 0,6 + 0,4 + 4 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,82}{4} = 7,152 \text{ m}$$

- PLOCHA

$$u_{cr} \cdot d_{eff} = 7,152 \cdot 0,41 = 2,932 \text{ m}^2$$

- SMYKOVÉ NAPĚTÍ OD ZATÍŽENÍ

$$v_{Ed} = \frac{\beta \cdot N_{Ed}}{u_{cr} \cdot d_{eff}} = \frac{1,0 \cdot 837,46}{7,152 \cdot 0,41} = 285,60 \text{ kPa}$$

- NÁVRHOVÁ ÚNOSNOST BETONU BEZ VÝZTUŽE VE SMYKU

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{410}} = 1,698 \leq 2,0$$

$$\rho_x = \frac{A_{sl,x}}{b \cdot d_x} = \frac{7,854 \cdot 10^{-4}}{1,0 \cdot 0,415} = 0,00189 \leq 0,02$$

$$\rho_y = \frac{A_{sl,y}}{b \cdot d_x} = \frac{7,854 \cdot 10^{-4}}{1,0 \cdot 0,405} = 0,00194 \leq 0,02$$

$$\rho = \sqrt{\rho_x \cdot \rho_y} = \sqrt{0,00189 \cdot 0,00194} = 0,00192$$

$$\begin{aligned} v_{Rd,c} &= [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] = \\ &= [0,12 \cdot 1,698 \cdot (100 \cdot 0,00192 \cdot 20)^{1/3} + 0] = 0,31908 \text{ MPa} = \\ &= 319,08 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$v_{Rd,c} = 319,08 \text{ kPa} \geq v_{Ed} = 285,60 \text{ kPa}$$

VYHOVÍ

Pro danou konstrukci a dané zatížení vyhoví patka rozměru 2400x2200 mm vysoká 450 mm z betonu C20/25, vyztužená KARI sítí B500B Ø10 mm – 100x100 mm na maximální ohybový moment s krytím 30 mm s kotevními délkami 490 mm a 150 mm.

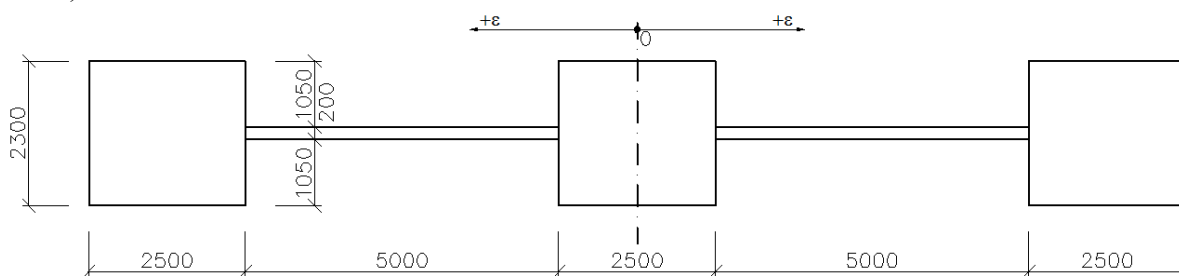
6 Statický výpočet konstrukce s vlivem poddolování

Statický výpočet s vlivem poddolování bude proveden na stropním průvlaku, střešním průvlaku, sloupech a na patce. Jako první bude navrženo táhlo, které sníží velikost vodorovného poměrného přetvoření ε .

6.1 ŽB táhlo

Železobetonové táhlo je navrženo podle přílohy 1 normy [1] a podle příkladu 3.5.3 v knize [9]. Hodnota prodloužení táhla se poté dosadí do modelu místo hodnoty vodorovného poměrného přetvoření ε . Navržením táhel snižujeme hodnoty vnitřních sil. Rozměry patky a hodnota $\sigma_{Ed,patky}$ jsou v kapitole 6.5. Táhlo je pro zjednodušení navrženo pouze na tření v základové spáře, protože to je dominantní zatížení táhla. Tření na bočním povrchu základů a tlak základové půdy nebo zásypu je zanedbán.

A) SÍLA V TÁHLĚ V ROVINĚ RÁMU



Obr. 6-1: Půdorys patky a táhla

ZEMINA:

$$\varphi_{ef} = 30^\circ$$

$$c_{ef} = 10 \text{ kPa}$$

$$E_{def} = 15 \text{ MPa}$$

$$\nu = 0,35 \rightarrow \beta = 1 - \frac{2 \cdot \nu^2}{1 - \nu} = 1 - \frac{2 \cdot 0,35^2}{1 - 0,35} = 0,623$$

$$E_{oed} = \frac{E_{def}}{\beta} = \frac{15}{0,623} = 24,074 \text{ MPa}$$

$$\tau_{uv,patky} = \sigma_{Ed,patky} \cdot \operatorname{tg} \varphi + c = 175,23 \cdot \operatorname{tg} 30^\circ + 10 = 111,17 \text{ kPa}$$

ZATÍŽENÍ TÁHEL:

$$\text{Podlaha... } 0,1 \cdot 1 \cdot 25 \cdot 0,2 = 0,5 \text{ kN/m}$$

$$\text{Podkladní beton... } 0,1 \cdot 1 \cdot 25 \cdot 0,2 = 0,5 \text{ kN/m}$$

$$\text{Táhlo... } 0,2 \cdot 1 \cdot 25 \cdot 0,2 = 1,0 \text{ kN/m}$$

$$\text{Zemina... } 0,2 \cdot 1 \cdot 19 \cdot 0,2 = 0,76 \text{ kN/m}$$

$$g = 0,5 + 0,5 + 1,0 + 0,76 = 2,76 \text{ kN/m}$$

$$\sigma_{Ed,táhla} = \frac{g}{1 \cdot 0,2} = \frac{2,76}{1 \cdot 0,2} = 13,8 \text{ kPa}$$

$$\tau_{uv,táhla} = \sigma_{Ed,táhla} \cdot \tan \varphi + c = 13,8 \cdot \tan 30^\circ + 10 = 17,97 \text{ kPa}$$

$$\tau_x = \beta_x \cdot \mu_\varepsilon \cdot (\varepsilon_{max} - \varepsilon_{eig}) \cdot \eta \cdot E_{oed}$$

$$L = 17,5 \text{ m}$$

$$L_g = 8,75 \text{ m}$$

$$b_m = \frac{1}{L_g} \cdot \sum_i^n A_i = \frac{1}{8,75} \cdot \left(2,5 \cdot 2,3 + \frac{2,5 \cdot 2,3}{2} + 5,0 \cdot 0,2 \right) = 1,1 \text{ m}$$

$$a = 0,75 \cdot L^{0,56} \cdot (1 - e^{-0,94 \cdot b^{0,53}}) = 0,75 \cdot 17,5^{0,56} \cdot (1 - e^{-0,94 \cdot 1,1^{0,53}}) = 2,339 \text{ m}$$

$$\frac{a}{b} = \frac{2,339}{1,1} = 2,127$$

$$\sigma_{Ed} = 190,36 \text{ kPa}$$

$$\eta = 1,29 \dots \text{získáno interpolací}$$

$$\mu_\varepsilon = 0,85$$

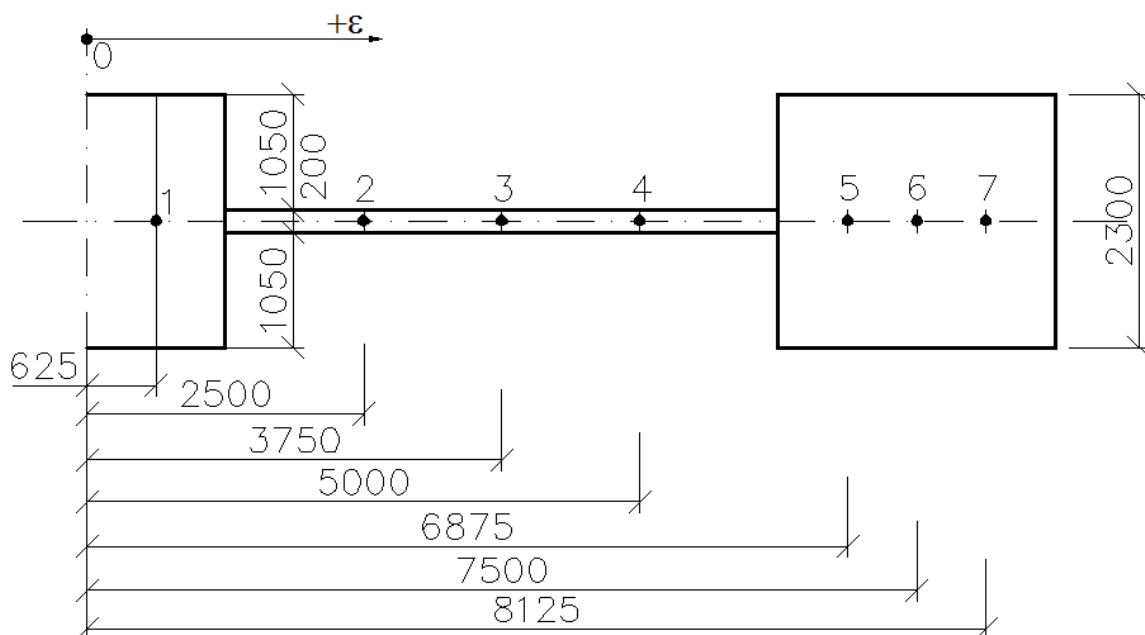
$$\varepsilon_{max} = 2,9 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{eig} = 1,0 \cdot 10^{-3}$$

$$\tau_x = \beta_x \cdot 0,85 \cdot (2,9 - 1,0) \cdot 10^{-3} \cdot 1,29 \cdot 24,074 \cdot 10^3 = 50,155 \cdot \beta_x$$

$$\xi = \frac{x}{a}$$

$$\beta_x = \frac{\xi}{4} \cdot \left(1 - \frac{1}{\sqrt{\xi^2 + 1}} \right)$$



Obr. 6-2: Půdorys patky a táhel

Počítaná veličina	Čísla dílků na ose - viz obr. 6-2						
	1	2	3	4	5	6	7
souřadnice x [m]	0,625	2,5	3,75	5	6,875	7,5	8,125
součinitel $\xi=x/a$	0,267	1,069	1,603	2,137	2,939	3,206	3,473
součinitel β_x	0,002	0,085	0,189	0,308	0,498	0,563	0,628
τ_x [kPa]	0,114	4,245	9,462	15,443	24,980	28,231	31,501
τ_{uv} [kPa]	111,169	17,970	17,970	17,970	111,169	111,169	111,169
A [m ²]	2,875	0,375	0,250	0,375	2,156	1,438	2,156
T_x [kN]	172,444	172,118	170,526	168,161	162,370	108,506	67,925

Tab. 6-1: Výpočet síly T_x

B) NÁVRH TÁHLA

1. ROZMĚRY TÁHLA

200x200 mm

2. BETON

$$C20/25 - f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,5} = 13,33 \text{ MPa}$$

3. OCEL

$$B500B - f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$$

4. KRYTÍ

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\}$$

$$\Delta c_{dev} = 5 \sim 10 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} = \emptyset = 16 \text{ mm}$$

$$c_{min,dur} = 15 \text{ mm (XC1,S4)}$$

$$c_{min,1} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\} = \max\{16; 15; 10\} = 16 \text{ mm}$$

$$c_{min,tř} = \max\{c_{min,tř}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\} = \max\{6; 15; 10\} = 15 \text{ mm}$$

$$c_{min,2} = c_{min,tř} + \emptyset_{TŘ} = 15 + 6 = 21 \text{ mm}$$

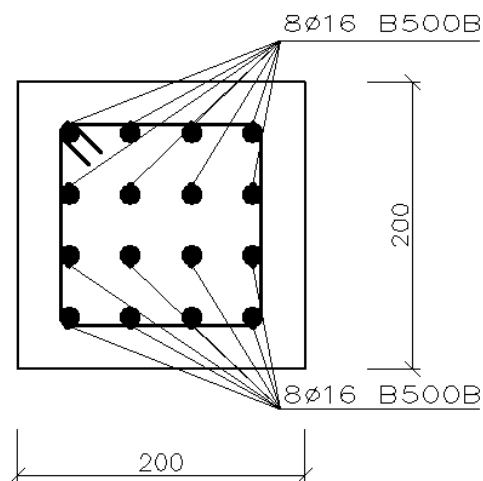
$$c_{min} = 21 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 9 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 21 + 9 = 30 \text{ mm}$$

5. NÁVRH VÝZTUŽE

$$T_x = 172,44 \text{ kN}$$



Obr. 6-3: Půdorys a řez patky

$$A_{s1} = A_{s2} = \frac{n \cdot \pi \cdot \emptyset^2}{4} = \frac{8 \cdot \pi \cdot 0,016^2}{4} = 1,608 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$F_{s1} = F_{s2} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 1,608 \cdot 10^{-3} \cdot 434,78 \cdot 10^6 = 699300 \text{ N} = 699,30 \text{ kN}$$

6. POSOUZENÍ PODLE I. MS

$$N_{Rd} = F_{s1} + F_{s2} = 699,3 + 699,3 = 1398,6 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 1398,6 \text{ kN} > T_x = 172,44 \text{ kN}$$

VYHOVÍ

7. POSOUZENÍ PODLE II. MS

$$\varepsilon_{eig} = \frac{\sigma_{sd}}{E} = \frac{N_{Ed}}{A \cdot E} = \frac{172,44 \cdot 10^3}{2 \cdot 9,048 \cdot 10^{-4} \cdot 200 \cdot 10^9} = 0,404 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta l = \varepsilon_{eig} \cdot l = 0,404 \cdot 10^{-3} \cdot 7500 = 3,03 \text{ mm}$$

$$\Delta l_{max} = 0,075 \% \cdot l = 0,00075 \cdot 7500 = 5,625 \text{ mm}$$

$$\Delta l = 3,03 \text{ mm} < \Delta l_{max} = 5,625 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

C) PŘEPOČET τ_x

$$\varepsilon_{eig} = 0,404 \cdot 10^{-3}$$

$$\tau_x = \beta_x \cdot 0,85 \cdot (2,9 - 0,404) \cdot 10^{-3} \cdot 1,29 \cdot 24,074 \cdot 10^3 = 65,887 \cdot \beta_x$$

Počítaná veličina	Čísla dílků na ose - viz obr. 6-2						
	1	2	3	4	5	6	7
souřadnice x [m]	0,625	2,5	3,75	5	6,875	7,5	8,125
součinitel $\xi=x/a$	0,267	1,069	1,603	2,137	2,939	3,206	3,473
součinitel β_x	0,002	0,085	0,189	0,308	0,498	0,563	0,628
τ_x [kPa]	0,149	5,576	12,430	20,287	32,816	37,086	41,383
τ_{uv} [kPa]	111,169	17,970	17,970	17,970	111,169	111,169	111,169
A [m ²]	2,875	0,375	0,250	0,375	2,156	1,438	2,156
T_x [kN]	226,537	226,109	224,018	220,910	213,302	142,543	89,232

Tab. 6-2: Výpočet síly T_x

1. POSOUZENÍ PODLE I. MS

$$N_{Rd} = 1398,6 \text{ kN} > T_x = 226,54 \text{ kN}$$

VYHOVÍ

2. POSOUZENÍ PODLE II. MS

$$\varepsilon_{eig} = \frac{\sigma_{sd}}{E} = \frac{N_{Ed}}{A \cdot E} = \frac{226,54 \cdot 10^3}{2 \cdot 9,048 \cdot 10^{-4} \cdot 200 \cdot 10^9} = 0,626 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta l = \varepsilon_{\text{eig}} \cdot l = 0,626 \cdot 10^{-3} \cdot 7500 = 4,69 \text{ mm}$$

$$\Delta l_{\text{max}} = 0,075 \% \cdot l = 0,00075 \cdot 7500 = 5,625 \text{ mm}$$

$$\Delta l = 4,69 \text{ mm} < \Delta l_{\text{max}} = 5,625 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

D) KONSTRUKČNÍ ZÁSADY

- MINIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{\text{min}} = \max\{k_1 \cdot \varnothing; d_g + k_2; 20 \text{ mm}\} = \max\{1,2 \cdot 16; 16 + 5; 20 \text{ mm}\} = \\ = \max\{19,2; 21; 20 \text{ mm}\} = 21 \text{ mm}$$

$$s_{\text{sv}} = \frac{b - 2 \cdot c_{\text{nom}} - n \cdot \varnothing}{n - 1} = \frac{200 - 2 \cdot 30 - 4 \cdot 16}{4 - 1} = 25,333 \text{ mm}$$

$$s_{\text{sv}} = 25,333 \text{ mm} > s_{\text{min}} = 21 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{\text{max}} = 400 \text{ mm}$$

$$s_{\text{os}} = 25,333 + 16 = 41,333 \text{ mm}$$

$$s_{\text{os}} = 41,333 \text{ mm} < s_{\text{max}} = 400 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- VELIKOST TŘMÍNKU

$$\varnothing_{\text{sw}} = \max\left\{\varnothing = \frac{16}{4} = 4 \text{ mm}\right\} = 6 \text{ mm}$$

- MAXIMÁLNÍ VZDÁLENOST TŘMÍNKŮ

$$s_{\text{max}} = \min\left\{\begin{array}{l} 15 \cdot \varnothing = 15 \cdot 16 = 240 \text{ mm} \\ b = 200 \text{ mm} \\ h = 200 \text{ mm} \\ 300 \text{ mm} \end{array}\right\} = 200 \text{ mm}$$

NÁVRH: TŘMÍNKY Ø6/200, OCEL B500B

Pro danou konstrukci a dané zatížení vyhoví táhlo rozměru 200x200 mm z betonu C20/25, vyztužené celkem 16x Ø10 mm B500B mm na maximální tahovou sílu T_x s krytím 30 mm s kotevními délkami 780 mm a 240 mm.

6.2 ŽB stropní průvlak

Z důvodu návrhu táhla jsou vnitřní síly brány z kapitoly 4.5.9 podle podbodu E). Statický výpočet bude jen zjednodušený, bude-li návrh konstrukce bez vlivu poddolování vyhovovat i s vlivem poddolování.

A) NÁVRH VÝZTUŽE – MAXIMÁLNÍ Kladný OHYBOVÝ MOMENT V POLI

$$M_{Ed} = 345,27 \text{ kNm}$$

NÁVRH: 4x Ø22 mm B500B [$a_s = 1,521 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$]

B) POSOUZENÍ VÝZTUŽE – MAXIMÁLNÍ Kladný OHYBOVÝ MOMENT V POLI

$$x = \frac{a_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b_w \cdot f_{cd}} = \frac{1,521 \cdot 10^{-3} \cdot 434,78 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 13,33 \cdot 10^6} = 0,1549 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= a_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x) = \\ &= 1,521 \cdot 10^{-3} \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot (0,659 - 0,4 \cdot 0,1549) = \\ &= 394,69 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_{Rd} = 394,69 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 345,27 \text{ kNm}$$

VYHOVÍ

C) NÁVRH VÝZTUŽE – Záporný OHYBOVÝ MOMENT NAD STŘEDNÍM SLOUPEM

$$M_{Ed} = -481,24 \text{ kNm}$$

NÁVRH: 6x Ø22 mm B500B [$a_s = 2,281 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$]

D) POSOUZENÍ VÝZTUŽE – Záporný OHYBOVÝ MOMENT NAD STŘEDNÍM SLOUPEM

$$x = \frac{a_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b_w \cdot f_{cd}} = \frac{2,281 \cdot 10^{-3} \cdot 434,78 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 13,33 \cdot 10^6} = 0,2324 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= a_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x) = \\ &= 2,281 \cdot 10^{-3} \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot (0,659 - 0,4 \cdot 0,2324) = \\ &= 561,31 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_{Rd} = 561,31 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 481,24 \text{ kNm}$$

VYHOVÍ

E) NÁVRH VÝZTUŽE – ZÁPORNÝ OHYBOVÝ MOMENT NAD KRAJNÍM SLOUPEM

$$M_{Ed} = -439,62 \text{ kNm}$$

NÁVRH: 5x Ø22 mm B500B [$a_s = 1,901 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$]

F) POSOUZENÍ VÝZTUŽE – ZÁPORNÝ OHYBOVÝ MOMENT NAD KRAJNÍM SLOUPEM

$$x = \frac{a_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b_w \cdot f_{cd}} = \frac{1,901 \cdot 10^{-3} \cdot 434,78 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 13,33 \cdot 10^6} = 0,1937 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = a_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 1,901 \cdot 10^{-3} \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot (0,659 - 0,4 \cdot 0,1937) \\ = 480,46 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 480,46 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 439,62 \text{ kNm}$$

VYHOVÍ

6.4 ŽB střešní průvlak

Z důvodu návrhu táhla jsou vnitřní síly brány z kapitoly 4.5.9 podle podbodu E). Vyhoví-li návrh konstrukce bez vlivu poddolování i s vlivem poddolování, pak bude statický výpočet jen zjednodušený – pouze posudek. Celý statický výpočet střešního průvlaku nalezneme v kapitole 5.6.

A) NÁVRH VÝZTUŽE – MAXIMÁLNÍ Kladný OHYBOVÝ MOMENT V POLI

$$M_{Ed} = 669,25 \text{ kNm}$$

NÁVRH: 5x Ø22 mm B500B [$a_s = 1,901 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$]

B) POSOUZENÍ VÝZTUŽE – MAXIMÁLNÍ Kladný OHYBOVÝ MOMENT V POLI

$$x = \frac{a_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b_w \cdot f_{cd}} = \frac{1,901 \cdot 10^{-3} \cdot 434,78 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 13,33 \cdot 10^6} = 0,1937 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = a_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 1,901 \cdot 10^{-3} \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot (0,959 - 0,4 \cdot 0,1937) \\ = 728,47 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 728,47 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 669,25 \text{ kNm}$$

VYHOVÍ

C) NÁVRH VÝZTUŽE – ZÁPORNÝ OHYBOVÝ MOMENT NAD KRAJNÍM SLOUPEM

$$M_{Ed} = -576,29 \text{ kNm}$$

NÁVRH: 4x Ø22 mm B500B [$a_s = 1,521 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$]

D) POSOUZENÍ VÝZTUŽE – ZÁPORNÝ OHYBOVÝ MOMENT

$$x = \frac{a_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b_w \cdot f_{cd}} = \frac{1,521 \cdot 10^{-3} \cdot 434,78 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 13,33 \cdot 10^6} = 0,1549 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = a_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 1,901 \cdot 10^{-3} \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot (0,959 - 0,4 \cdot 0,1549) \\ = 593,02 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 593,02 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 576,29 \text{ kNm}$$

VYHOVÍ

6.4 ŽB sloup

Protože je v konstrukci navrženo táhlo, snižující vodorovné poměrné přetvoření terénu ε a tím pádem i hodnoty vnitřních sil, pak jsou vnitřní síly brány z kapitoly 4.5.9 podle podbodu E). Vyhoví-li návrh sloupu bez vlivu poddolování i v konstrukci s vlivem poddolování, pak bude statický výpočet jen zjednodušený – pouze posudek. Celý statický výpočet sloupu nalezneme v kapitole 5.7.

A) ROZHODUJÍCÍ KOMBINACE ZATÍŽENÍ
STŘEDNÍ DOLNÍ SLOUP

$$\text{CO695: } N_{max} = -887,20 \text{ kN}$$

$$M_{příslušné} = 2,68 \text{ kN}$$

$$\text{CO885: } M_{max} = 168,53 \text{ kN}$$

$$N_{příslušné} = -653,50 \text{ kN}$$

KRAJNÍ DOLNÍ SLOUP

$$\text{CO712: } N_{max} = -828,19 \text{ kN}$$

$$M_{příslušné} = 96,36 \text{ kN}$$

$$\text{CO976: } M_{max} = 244,75 \text{ kN}$$

$$N_{příslušné} = -359,38 \text{ kN}$$

HORNÍ SLOUP

$$\text{CO701: } N_{\max} = -380,25 \text{ kN}$$

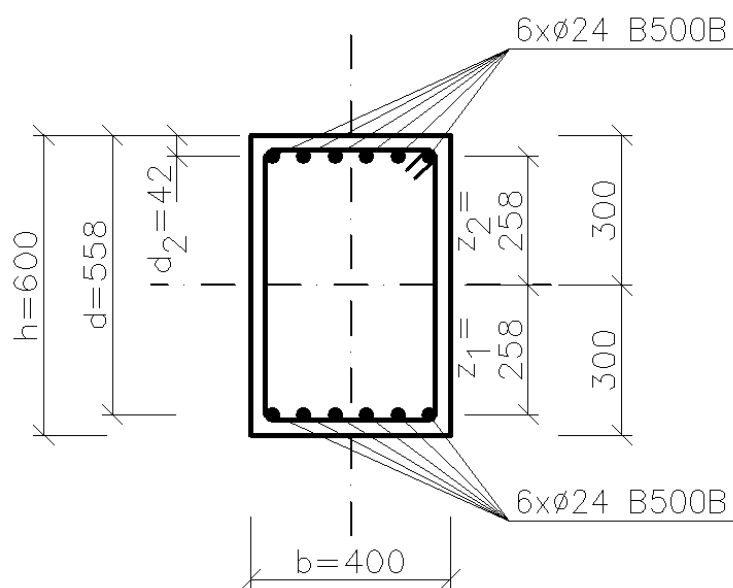
$$M_{\text{příslušné}} = 285,14 \text{ kN}$$

$$\text{CO683: } M_{\max} = 576,29 \text{ kN}$$

$$N_{\text{příslušné}} = -351,24 \text{ kN}$$

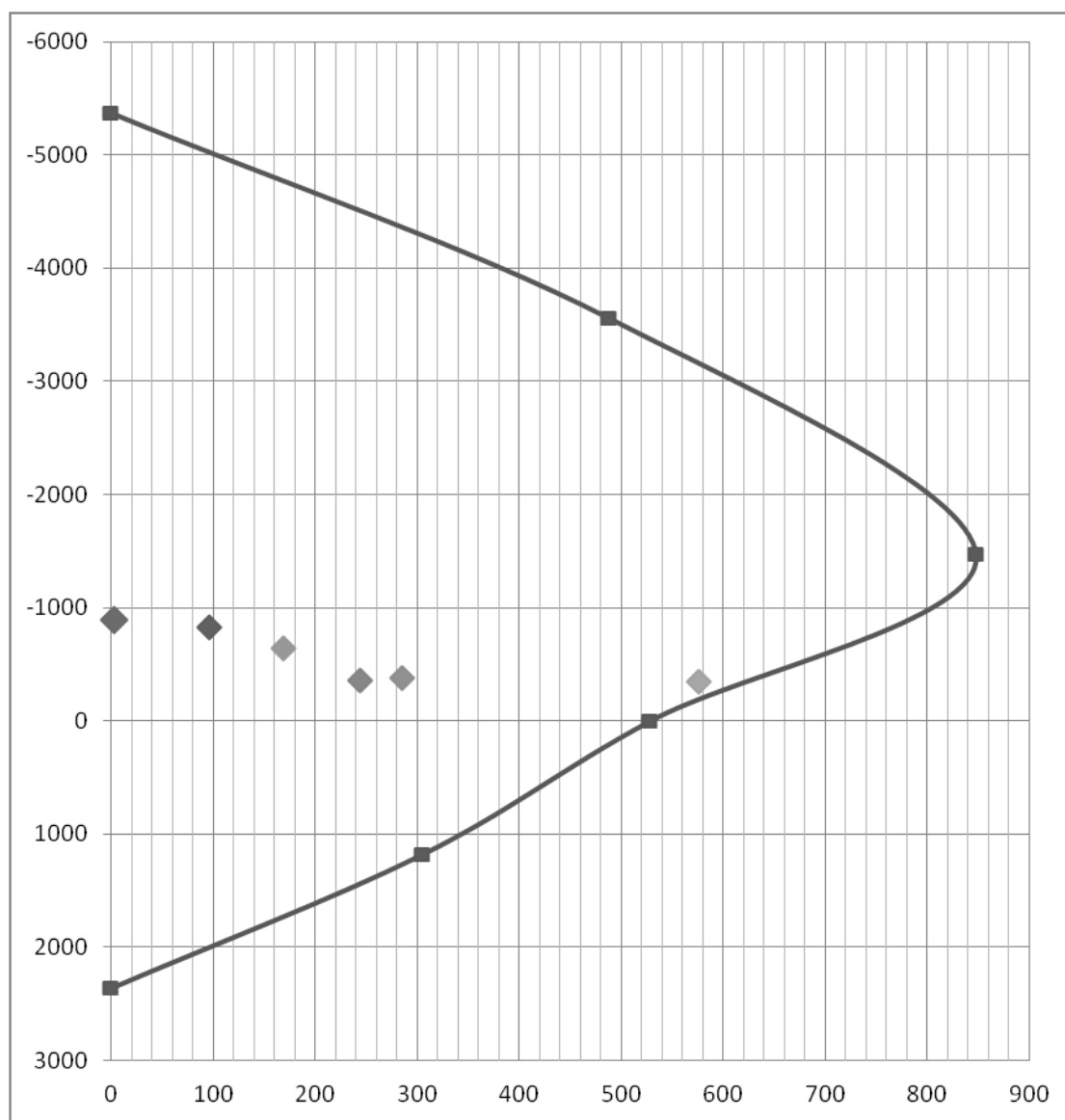
B) NÁVRH SLOUPU

$$c_{\text{nom}} = 30 \text{ mm}$$



Obr. 6-4: Řez sloupem

C) POSUDEK SLOUPU

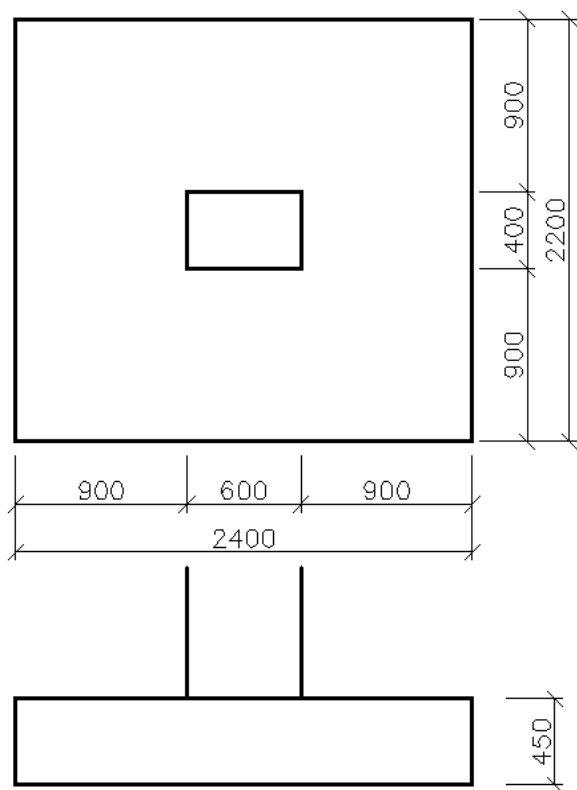


VYHOVÍ

6.5 ŽB patka

Vnitřní síly k výpočtu desky nalezneme v bodě 4.5.9 – ŽB rám s vlivem poddolování, podbod E). V konstrukci je navíc navrženo táhlo, snižující vodorovné poměrné přetvoření terénu ε .

A) ROZMĚRY PATKY



$$\sigma = \frac{N}{A} \rightarrow A = \frac{N}{\sigma}$$

$$N_{Ed} = 887,11 \text{ kN}$$

$$\sigma = R_{dt} = 200 \text{ kPa}$$

$$A = \frac{N}{\sigma} = \frac{887,11}{200} = 4,44 \text{ m}^2 \rightarrow a = b$$

$$= \sqrt{A} = \sqrt{4,19}$$

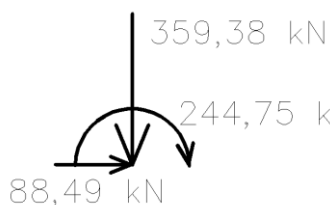
$$= 2,11 \text{ m}$$

$$h \geq 0,5 \cdot a = 0,5 \cdot 0,9 = 0,45 \text{ m}$$

Obr. 6-5: Půdorys a řez patky

B) ZATÍŽENÍ PATKY

1. CO 976



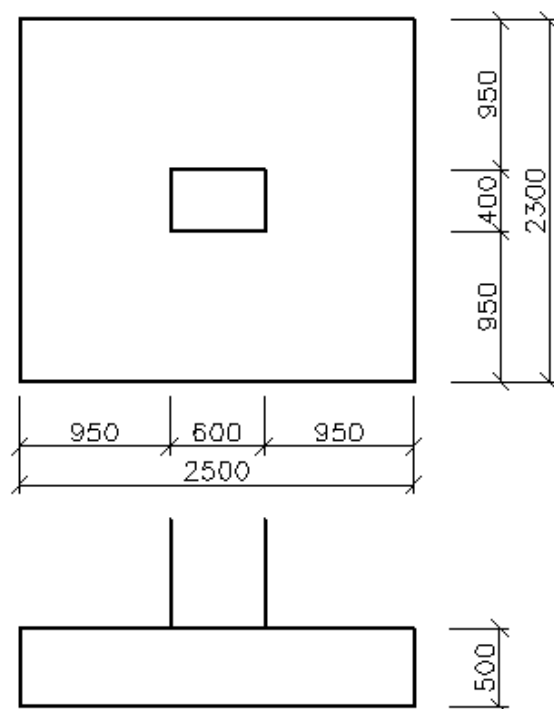
$$e_x = \frac{88,49 \cdot 0,45 + 244,75}{359,38} = 0,792 \text{ m}$$

$$2 \cdot e_x = 2 \cdot 0,792 = 1,584 \text{ m}$$

$$A_{eff} = (2,4 - 2 \cdot e_x) \cdot 2,2 = (2,4 - 1,584) \cdot 2,2 = 1,796 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{zs} = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{359,38}{1,796} = 200,11 \text{ kPa} \rightarrow$$

Zvětšení patky!!!



Obr. 6-6: Půdorys a řez zvětšené patky

1. CO 976



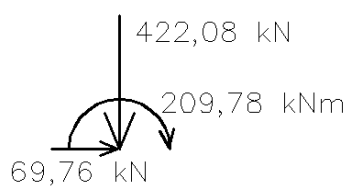
$$e_x = \frac{88,49 \cdot 0,5 + 244,75}{359,38} = 0,804 \text{ m}$$

$$2 \cdot e_x = 2 \cdot 0,804 = 1,608 \text{ m}$$

$$A_{eff} = (2,5 - 2 \cdot e_x) \cdot 2,3 = (2,5 - 1,608) \cdot 2,3 = 2,051 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{zs} = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{359,38}{2,051} = 175,23 \text{ kPa}$$

2. CO 990



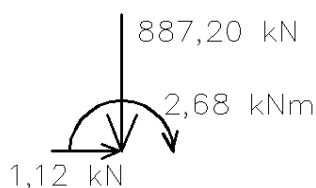
$$e_x = \frac{69,76 \cdot 0,5 + 209,78}{422,08} = 0,580 \text{ m}$$

$$2 \cdot e_x = 2 \cdot 0,580 = 1,159 \text{ m}$$

$$A_{eff} = (2,5 - 2 \cdot e_x) \cdot 2,3 = (2,5 - 1,159) \cdot 2,3 = 3,084 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{zs} = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{422,08}{3,084} = 136,88 \text{ kPa}$$

3. CO 695



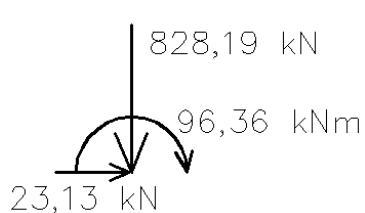
$$e_x = \frac{1,12 \cdot 0,5 + 2,68}{887,20} = 0,004 \text{ m}$$

$$2 \cdot e_x = 2 \cdot 0,004 = 0,007 \text{ m}$$

$$A_{eff} = (2,5 - 2 \cdot e_x) \cdot 2,3 = (2,5 - 0,007) \cdot 2,3 = 5,733 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{zs} = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{887,20}{5,733} = 154,75 \text{ kPa}$$

4. CO 712



$$e_x = \frac{23,13 \cdot 0,5 + 96,36}{828,19} = 0,130 \text{ m}$$

$$2 \cdot e_x = 2 \cdot 0,130 = 0,261 \text{ m}$$

$$A_{eff} = (2,5 - 2 \cdot e_x) \cdot 2,3 = (2,5 - 0,261) \cdot 2,3 = 5,151 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{zs} = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{828,19}{5,151} = 160,80 \text{ kPa}$$

5. CO 712



$$e_x = \frac{26,15 \cdot 0,5 + 105,11}{826,45} = 0,143 \text{ m}$$

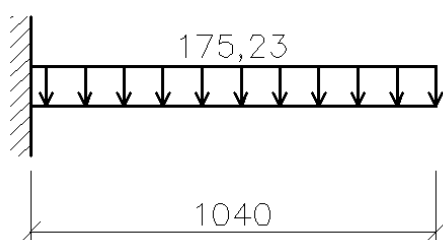
$$2 \cdot e_x = 2 \cdot 0,143 = 0,286 \text{ m}$$

$$A_{eff} = (2,5 - 2 \cdot e_x) \cdot 2,3 = (2,5 - 0,286) \cdot 2,3 = 5,092 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{zs} = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{826,45}{5,092} = 162,30 \text{ kPa}$$

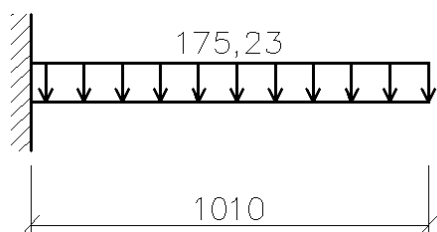
C) OHYBOVÉ MOMENTY

3. směr osy x



$$\begin{aligned} m_{Ed,x} &= \frac{1}{2} \cdot \sigma_{zs} \cdot (a + 0,15 \cdot c)^2 = \\ &= \frac{1}{2} \cdot 175,23 \cdot (0,95 + 0,15 \cdot 0,6)^2 = \\ &= 94,76 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

4. směr osy y



$$\begin{aligned} m_{Ed,y} &= \frac{1}{2} \cdot \sigma_{zs} \cdot (a + 0,15 \cdot c)^2 = \\ &= \frac{1}{2} \cdot 175,23 \cdot (0,95 + 0,15 \cdot 0,4)^2 = \\ &= 89,38 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

D) NÁVRH VÝZTUŽE

1. BETON

$$C20/25 - f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,5} = 13,33 \text{ MPa}$$

2. OCEL

$$B500B - f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$$

3. KRYTÍ

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\}$$

$$\Delta c_{dev} = 5 \sim 10 \text{ mm}$$

$$c_{min,b} = \emptyset = 8 \text{ mm}$$

$$c_{min,dur} = 25 \text{ mm (XC2,S4)}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\} = \max\{8; 25; 10\} = 25 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 5 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 25 + 5 = 30 \text{ mm}$$

4. NÁVRH VÝZTUŽE – SMĚR OSY X

$$m_{Ed} = 94,76 \text{ kNm/m}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$\emptyset = 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 30 \text{ mm}$$

$$d = h - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} = 500 - 30 - \frac{10}{2} = 465 \text{ mm}$$

$$a_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot f_{yd} \cdot d} = \frac{94,76 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot 0,465} = 5,208 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$s_{req} = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{a_{s,req} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,01^2}{5,208 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,1508 \text{ m} \rightarrow s = \mathbf{100 \text{ mm}}$$

$$a_s = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{s \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,01^2}{0,1 \cdot 4} = 7,854 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

NÁVRH: KARI SÍŤ Ø10 mm – 100x100 mm [$a_s = 7,854 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$]

5. POSOUZENÍ VÝZTUŽE – SMĚR OSY X

$$x = \frac{a_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{7,854 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,0 \cdot 13,33 \cdot 10^6} = 0,0320 \text{ m}$$

$$m_{Rd} = a_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x)$$

$$= 7,854 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot (0,465 - 0,4 \cdot 0,0320) =$$

$$= 154,41 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Rd} = 154,41 \text{ kNm/m} \geq m_{Ed} = 94,76 \text{ kNm/m}$$

VYHOVÍ

6. KONSTRUKČNÍ ZÁSADY

- MINIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$a_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \\ 0,0013 \cdot b_t \cdot d \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{2,2}{500} \cdot 1,0 \cdot 0,465 \\ 0,0013 \cdot 1,0 \cdot 0,465 \end{array} \right\} =$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} 5,32 \cdot 10^{-4} \\ 6,05 \cdot 10^{-4} \end{array} \right\} = 6,05 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$a_{s,min} = 6,05 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < a_s = 7,854 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$a_{s,max} = 0,04 \cdot A_s = 0,04 \cdot 1,0 \cdot 0,5 = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$a_{s,max} = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 > a_s = 7,854 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

VYHOVÍ

- OMEZENÍ VÝŠKY TLAČENÉ OBLASTI

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,0320}{0,465} = 0,07 < \xi_{max} = 0,45$$

VYHOVÍ

- MINIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{min} = \max\{k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20 \text{ mm}\} = \max\{1,2 \cdot 10; 16 + 5; 20 \text{ mm}\} =$$

$$= \max\{12; 21; 20 \text{ mm}\} = 21 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = s - \emptyset = 100 - 10 = 90 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = 90 \text{ mm} > s_{min} = 21 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{max} = \min\{2 \cdot h; 250 \text{ mm}\} = \min\{2 \cdot 450; 250\} = \min\{900; 250\} = 250 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 100 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 100 \text{ mm} < s_{max} = 250 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- KOTEVNÍ DÉLKA

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = \frac{1,0 \cdot 1,5}{1,5} = 1,0 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,25 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{10}{4} \cdot \frac{434,78}{2,25} = 483,09 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 490 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 100 \text{ mm}\} = \max\{0,3 \cdot 483,09; 10 \cdot 10; 100\} = \\ = \max\{144,93; 100; 100\} = 144,93 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = 150 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 490 \text{ mm} > l_{b,min} = 150 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

7. NÁVRH VÝZTUŽE – SMĚR OSY Y

$$m_{Ed} = 89,38 \text{ kNm/m}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$\emptyset = 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 30 \text{ mm}$$

$$d = h - c_{nom} - \emptyset - \frac{\emptyset}{2} = 500 - 30 - 10 - \frac{10}{2} = 455 \text{ mm}$$

$$a_{s,req} = \frac{m_{Ed}}{0,9 \cdot f_{yd} \cdot d} = \frac{89,38 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot 0,455} = 5,020 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$s_{req} = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{a_{s,req} \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,01^2}{5,020 \cdot 10^{-4} \cdot 4} = 0,1565 \text{ m} \rightarrow s = \mathbf{100 \text{ mm}}$$

$$a_s = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{s \cdot 4} = \frac{\pi \cdot 0,01^2}{0,1 \cdot 4} = 7,854 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

NÁVRH: KARI SÍŤ Ø10 mm – 100x100 mm [$a_s = 7,854 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$]

8. POSOUZENÍ VÝZTUŽE – SMĚR OSY Y

$$x = \frac{a_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{7,854 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 1,0 \cdot 13,33 \cdot 10^6} = 0,0320 \text{ m}$$

$$m_{Rd} = a_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x)$$

$$= 7,854 \cdot 10^{-4} \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot (0,455 - 0,4 \cdot 0,0320) = \\ = 151,00 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Rd} = 151,00 \text{ kNm/m} \geq m_{Ed} = 89,38 \text{ kNm/m}$$

VYHOVÍ

9. KONSTRUKČNÍ ZÁSADY

- MINIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$a_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \\ 0,0013 \cdot b_t \cdot d \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{2,2}{500} \cdot 1,0 \cdot 0,455 \\ 0,0013 \cdot 1,0 \cdot 0,455 \end{array} \right\} =$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} 5,21 \cdot 10^{-4} \\ 5,92 \cdot 10^{-4} \end{array} \right\} = 5,92 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$a_{s,min} = 5,92 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < a_s = 7,854 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ PLOCHA VÝZTUŽE

$$a_{s,max} = 0,04 \cdot A_s = 0,04 \cdot 1,0 \cdot 0,5 = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$a_{s,max} = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 > a_s = 7,854 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

VYHOVÍ

- OMEZENÍ VÝŠKY TLAČENÉ OBLASTI

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,0320}{0,455} = 0,07 < \xi_{max} = 0,45$$

VYHOVÍ

- MINIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{min} = \max\{k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20 \text{ mm}\} = \max\{1,2 \cdot 10; 16 + 5; 20 \text{ mm}\} =$$

$$= \max\{12; 21; 20 \text{ mm}\} = 21 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = s - \emptyset = 100 - 10 = 90 \text{ mm}$$

$$s_{sv} = 90 \text{ mm} > s_{min} = 21 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- MAXIMÁLNÍ VZDÁLENOST VÝZTUŽE

$$s_{max} = \min\{2 \cdot h; 250 \text{ mm}\} = \min\{2 \cdot 450; 250\} = \min\{900; 250\} = 250 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 100 \text{ mm}$$

$$s_{os} = 100 \text{ mm} < s_{max} = 250 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- KOTEVNÍ DÉLKA

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = \frac{1,0 \cdot 1,5}{1,5} = 1,0 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,25 \text{ MPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{10}{4} \cdot \frac{434,78}{2,25} = 483,09 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 490 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max\{0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 100 \text{ mm}\} = \max\{0,3 \cdot 483,09; 10 \cdot 10; 100\} = \\ = \max\{144,93; 100; 100\} = 144,93 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = 150 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 490 \text{ mm} > l_{b,min} = 150 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

10. POSOUZENÍ NA PROTLAČENÍ

- KONTROLOVANÝ (KRITICKÝ) PRŮŘEZ

$$d_{eff} = \frac{d_x + d_y}{2} = \frac{0,465 + 0,455}{2} = 0,460 \text{ m}$$

$$2 \cdot d_{eff} = 2 \cdot 460 = 920 \text{ mm}$$

- DÉLKA KRITICKÉHO OBVODU

$$u_{cr} = 0,6 + 0,4 + 0,6 + 0,4 + 4 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,92}{4} = 7,781 \text{ m}$$

- PLOCHA

$$u_{cr} \cdot d_{eff} = 7,781 \cdot 0,46 = 3,579 \text{ m}^2$$

- SMYKOVÉ NAPĚTÍ OD ZATÍŽENÍ

$$v_{Ed} = \frac{\beta \cdot N_{Ed}}{u_{cr} \cdot d_{eff}} = \frac{1,0 \cdot 887,20}{7,781 \cdot 0,46} = 247,89 \text{ kPa}$$

- NÁVRHOVÁ ÚNOSNOST BETONU BEZ VÝZTUŽE VE SMYKU

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{460}} = 1,659 \leq 2,0$$

$$\rho_x = \frac{A_{sl,x}}{b \cdot d_x} = \frac{7,854 \cdot 10^{-4}}{1,0 \cdot 0,465} = 0,00169 \leq 0,02$$

$$\rho_y = \frac{A_{sl,y}}{b \cdot d_x} = \frac{7,854 \cdot 10^{-4}}{1,0 \cdot 0,415} = 0,00189 \leq 0,02$$

$$\rho = \sqrt{\rho_x \cdot \rho_y} = \sqrt{0,00169 \cdot 0,00189} = 0,00179$$

$$\begin{aligned} v_{Rd,c} &= [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] = \\ &= [0,12 \cdot 1,659 \cdot (100 \cdot 0,00179 \cdot 20)^{1/3} + 0] = 0,30439 \text{ MPa} = \\ &= 304,39 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$v_{Rd,c} = 304,39 \text{ kPa} \geq v_{Ed} = 247,89 \text{ kPa}$$

VYHOVÍ

Pro danou konstrukci a dané zatížení vyhoví patka rozměru 2500x2300 mm vysoká 500 mm z betonu C20/25, vyztužená KARI sítí B500B Ø10 mm – 100x100 mm na maximální ohybový moment s krytím 30 mm s kotevními délkami 490 mm a 150 mm.

7 Srovnání návrhu konstrukce bez vlivu poddolování a s vlivem poddolování

V této kapitole budou porovnány jednotlivé prvky konstrukce (stropní průvlak, střešní průvlak, sloup, patka), které byly dimenzovány bez vlivu poddolování a s vlivem poddolování. Protože prvky mají stejné rozměry při návrhu, budou zde srovnány vnitřní síly a bude také srovnáno, jak se liší vyztužení jednotlivých prvků. Na konci kapitoly bude tabulka s celkovým porovnáním vyztužení.

7.1 Stropní průvlak

Podle výpisu výztuže, který se nachází na výkresu výztuže průvlaku bez vlivu poddolování (výkres výztuže č. 3) jsme zjistili, že celková hmotnost výztuže v 1 stropním průvlaku P1 je 596,506 kg, v 6 průvlacích pak 3579,034 kg. Ve výpisu výztuže stropního průvlaku P1 s vlivem poddolování (výkres výztuže č. 12) je hmotnost výztuže stejná, protože posouzení konstrukce vyhovělo. Více o hmotnosti výztuže v tabulce 7-5. Objem betonu v 1 stropním průvlaku je 3,81 m³, ve všech stropních průvlacích je to pak 22,84 m³, více tabulka 7-6. V tabulce 7-1 je porovnání vnitřních sil konstrukce navržené bez vlivu poddolování a konstrukce s vlivem poddolování navržené.

Vnitřní síly		Bez vlivu poddolování	S vlivem poddolování		Změna velikosti vnitřní síly			
					Bez opatření		S opatřením	
			Bez opatření	S opatřením	[kN, kNm]	%	[kN, kNm]	%
V _{max}	[kN]	304,79	323,02	303,51	18,23	5,98	-1,28	-0,42
M ⁺ _{max}	[kNm]	297,91	432,55	345,27	134,64	45,19	47,36	15,90
M _{max, střední sloup}	[kNm]	511,81	490,30	481,24	-21,51	-4,20	-30,57	-5,97
M _{max, krajní sloup}	[kNm]	414,26	357,87	439,62	-56,39	-13,61	25,36	6,12

Tab. 7-1: Srovnání vnitřních sil ve stropním průvlaku

7.2 Střešní průvlak

Ve výpisu výztuže z výkresu výztuže střešního průvlaku P2 bez vlivu poddolování (výkres výztuže č. 6) zjišťujeme, že celková hmotnost výztuže v 1 střešním průvlaku je 516,881 kg, celkem v 6 střešních průvlacích pak 3101,289 kg. Výpis výztuže střešního průvlaku P2 s vlivem poddolování (výkres výztuže č. 13) ukazuje, že hmotnost výztuže je stejná. Více v tabulce 7-5. V tabulce 7-2 je porovnání vnitřních sil konstrukce navržené bez vlivu poddolování a konstrukce navržené s vlivem poddolování. Objem betonu v 1 střešním průvlaku je 5,69 m³, ve všech střešních průvlacích je to pak 34,11 m³. Více nalezneme v tabulce 7-6.

Vnitřní síly		Bez vlivu poddolování	S vlivem poddolování		Změna velikosti vnitřní síly			
					Bez opatření		S opatřením	
			Bez opatření	S opatřením	[kN, kNm]	%	[kN, kNm]	%
V _{max}	[kN]	287,52	288,88	291,40	1,36	0,47	3,88	1,35
M ⁺ _{max}	[kNm]	655,60	630,85	669,25	-24,75	-3,78	13,65	2,08
M _{max, krajní sloup}	[kNm]	551,27	601,43	576,29	50,16	9,10	25,02	4,54

Tab. 7-2: Srovnání vnitřních sil ve střešním průvlaku

7.3 Sloupy

Zde se budou porovnávat jednotlivé sloupy (krajní S1, krajní S3 a vnitřní S2). Hmotnosti výztuží nalezneme ve výkresech výztuže sloupu S1, S2 a S3 bez vlivu poddolování (výkres výztuže č. 7, 8 a 9), které zároveň jsou navrženy i s vlivem poddolování. Hmotnost výztuže v sloupu S1 je 147,320 kg, celkově pak 1767,842 kg, ve sloupu S2 je hmotnost výztuže 239,673 kg, celkově 1438,037 kg a hmotnost výztuže ve sloupu S3 80,118 kg, celkem pak 961,420 kg. Objem betonu ve všech sloupech je 24,65 m³. V tabulce 7-3 nalezneme porovnání vnitřních sil v krajním sloupu a v tabulce 7-4 ve vnitřním sloupu.

Vnitřní síly		Bez vlivu poddolování	S vlivem poddolování		Změna velikosti vnitřní síly			
					Bez opatření		S opatřením	
			Bez opatření	S opatřením	[kN, kNm]	%	[kN, kNm]	%
N_{\max}	[kN]	837,46	816,49	828,19	-20,97	-2,50	-9,27	-1,11
V_{\max}	[kN]	272,17	403,11	312,90	130,94	48,11	40,73	14,96
M_{\max}	[kNm]	551,27	774,20	576,29	222,93	40,44	25,02	4,54

Tab. 7-3: Srovnání vnitřních sil v krajních sloupech

Vnitřní síly		Bez vlivu poddolování	S vlivem poddolování		Změna velikosti vnitřní síly			
					Bez opatření		S opatřením	
			Bez opatření	S opatřením	[kN, kNm]	%	[kN, kNm]	%
N_{\max}	[kN]	887,11	926,22	887,2	39,11	4,41	0,09	0,01
V_{\max}	[kN]	60,27	42,54	42,54	-17,73	-29,42	-17,73	-29,42
M_{\max}	[kNm]	165,64	168,53	168,53	2,89	1,74	2,89	1,74

Tab. 7-4: Srovnání vnitřních sil ve vnitřním sloupu

7.4 Patka

Hmotnost výztuže nalezneme ve výkresech výztuže patky A1 bez vlivu poddolování (výkres výztuže č. 10). Hmotnost výztuže v 1 patce je 197,822 kg, celkem pak 3560,800 kg. V konstrukci navržené na vliv poddolování dochází k rozšíření patky a tím pádem i nárůstu hmotnosti výztuže a objemu betonu. Hmotnost výztuže při návrhu na vliv poddolování nalezneme ve výkrese výztuže č. 14 a zde je uvedeno, že v 1 patce je hmotnost výztuže 204,807 kg a celková hmotnost výztuže narostla na 3689,520 kg. Více k hmotnosti výztuže nalezneme v tabulce 7-5. Objem betonu v 1 patce bez vlivu poddolování je 2,64 m³, s vlivem poddolování 3,16 m³. Objem betonu ve všech patkách bez vlivu poddolování je 47,52 m³, s vlivem poddolování je objem betonu 58,25 m³. Více k objemu betonu v tabulce 7-6.

7.5 Táhlo

Pro zmenšení účinku vodorovného poměrného přetvoření ε a tím pádem i hodnot vnitřních sil bylo navrženo táhlo. Hmotnost výztuže v 1 táhle se nachází na výkrese výztuže táhla H1 (výkres výztuže č. 15) je 174,982 kg, celková hmotnost výztuží v 12 táhlech je 2099,788 kg. Objem betonu v 1 táhle je 0,2 m³, objem betonu ve všech táhlech je 2,4 m³.

7.6 Celkové srovnání

V tabulce 7-5 nalezneme srovnání vyztužení jednotlivých prvků, v tabulce 7-6 objem betonu jednotlivých navrhovaných prvků konstrukce.

Prvek	Bez vlivu poddolování		S vlivem poddolování		Změna hmotnosti výztuže	
	1 ks	Celkem	1 ks	Celkem		
	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	%	[kg]
Stropní deska D1	-	7520,37	-	7520,37	0,00	0,00
Stropní deska D2	-	2827,28	-	2827,28	0,00	0,00
Stropní trám T1	455,65	3189,54	455,65	3189,54	0,00	0,00
Stropní trám T2	194,12	1358,84	194,12	1358,84	0,00	0,00
Stropní průvlak P1	596,51	3579,03	596,51	3579,03	0,00	0,00
Střešní průvlak P2	516,88	3101,29	516,88	3101,29	0,00	0,00
Krajní sloup S1	147,32	1767,84	147,32	1767,84	0,00	0,00
Krajní sloup S3	80,118	961,42	80,118	961,42	0,00	0,00
Vnitřní sloup S2	239,67	1438,04	239,67	1438,04	0,00	0,00
Patka A1	197,82	3560,8	204,81	3686,52	+3,53	+125,72
Táhlo H1	0	0	174,982	2099,788	+100,00	+2099,79

Tab. 7-5: Srovnání hmotnosti výztuže v jednotlivých prvcích

Celková hmotnost výztuže v celé konstrukci navržené bez vlivu poddolování (včetně desek a trámů) je 29304,45 kg. Objem betonu v celé konstrukci navržené bez vlivu poddolování je 249,62 m³.

Celková hmotnost výztuže v celé konstrukci navržené s vlivem poddolování (včetně desek a trámů) je 31529,95 kg. Objem betonu v celé konstrukci navržené s vlivem poddolování je 260,75 m³.

Konstrukce navržená s vlivem poddolování bude mít tedy nárůst hmotnosti výztuže o 2225,508 kg, což znamená nárůst o 7,59 %. Objem betonu v celé konstrukci se zvětší o 11,13 m³, což je nárůst o 4,46 %.

Prvek	Bez vlivu poddolování		S vlivem poddolování		Změna objemu betonu	
	1 ks	Celkem	1 ks	Celkem		
	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[m ³]	%	[m ³]
Stropní deska D1	-	42,68	-	42,68	0,00	0,00
Stropní deska D2	-	38,01	-	38,01	0,00	0,00
Stropní trám T1	3,74	26,18	3,74	26,18	0,00	0,00
Stropní trám T2	1,95	13,65	1,95	13,65	0,00	0,00
Stropní průvlak P1	3,81	22,84	3,81	22,84	0,00	0,00
Střešní průvlak P2	5,69	34,11	5,69	34,11	0,00	0,00
Krajní sloup S1	0,99	11,95	0,99	11,95	0,00	0,00
Krajní sloup S3	0,56	6,72	0,56	6,72	0,00	0,00
Vnitřní sloup S2	0,99	5,96	0,99	5,96	0,00	0,00
Patka A1	2,64	47,52	3,16	56,25	+18,37	+8,73
Táhlo H1	-	-	0,2	2,4	+100,00	+2,40

Tab. 7-6: Srovnání objemu betonu v jednotlivých prvcích

8 Závěr

Tématem bakalářské práce byl Železobetonový skelet na poddolovaném území. Práce obsahovala výpočet vnitřních sil a dimenzování železobetonového skeletu bez vlivu poddolování s vlivem poddolování. Práce srovnává stav, kdy je vliv poddolování zanedbán a kdy zanedbán není.

V kapitole 2 bylo popsáno působení poddolování a konstrukční zásady při návrhu konstrukce na poddolovaném území.

Kapitola 3 se zabývala seizmicitou a byly zde stručně naznačeny konstrukční zásady návrhu konstrukce na seizmické zatížení.

Zatížení, kombinace zatížení a hodnoty vnitřních sil jednotlivých prvků konstrukce byly počítány v kapitole 4.

V kapitole 5 se nachází statický výpočet jednotlivých prvků konstrukce bez vlivu poddolování.

Statický výpočet s vlivem poddolování se nachází v kapitole 6.

Kapitola 7 se zabývá srovnáním konstrukce navržené na vliv poddolování s konstrukcí, která zanedbávala vliv poddolování.

Konstrukce byla dimenzovaná na stav bez vlivu poddolování a později srovnána se stavem, kdy se poddolování uvažuje. Protože nastávaly velké ohybové momenty ve sloupech zvláště od vodorovného poměrného přetvoření ε , tak se do konstrukce navrhly táhla v úrovni základové spáry základových patek. Při tomto opatření vyhověly jednotlivé prvky, které byly navrženy bez vlivu poddolování.

Při návrhu konstrukce odolné účinkům poddolování dochází k celkovému nárůstu objemu betonu v konstrukci o 4,46 % a celkovému nárůstu hmotnosti oceli o 7,59 %. Hodnoty jsou v relaci, která je uvedena v publikaci [9] na straně 27, kde je uvedeno, že staveniště v kategorii V bude mít zvýšení investičních nákladů o 3% a staveniště na rozhraní skupiny I a II bude mít zvýšení nákladů o 15 %. Lineární interpolací zjistíme, že IV skupina by znamenala zvýšení investičních nákladů o 7 %.

Tato práce mě zdokonalila ve výpočtu jiného zatížení, než je obvyklé a ve škole se mu nevěnovalo takové pozornosti, jaké by si zasluhovalo, obzvláště v Moravskoslezském kraji, kde se s vlivy poddolování setkáváme a setkávat se budeme i v budoucnosti. Také jsem rád, že jsem si připomenul dimenzování jednotlivých prvků železobetonové konstrukce a udělal komplexní posouzení konstrukce, kterou bych mohl v budoucnosti projektovat. V neposlední řadě jsem ověřil, že vliv poddolování na konstrukci zvyšuje investiční náklady na stavbu a mnou vypočtené zvýšení nákladů se shoduje s nárůstem nákladů v publikaci [9] na straně 27.

Závěrem bych chtěl poděkovat:

doc. Ing. Karlu Kubečkovi, Ph.D. za konzultace k bakalářské práci a vedení bakalářské práce,

a Ing. Pavlíně Matečkové, Ph.D. za konzultaci k výkresům.

Také bych rád poděkoval svým rodičům a celé své rodině za podporu.

9 Použitá literatura

9.1 Normy

- [1] ČSN 73 0039. *Navrhování objektů na poddolovaném území: Základní ustanovení*. Praha: Federální úřad pro normalizaci a měření, 1991.
- [2] ČSN 73 1001. *Zakládání staveb: ZÁKLADOVÁ PŮDA POD PLOŠNÝMI ZÁKLADY*. Praha: ÚNM, 1988.
- [3] ČSN EN 1990. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: ČNI, 2004.
- [4] ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: ČNI, 2004.
- [5] ČSN EN 1991-1-3. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. Praha: ČNI, 2005.
- [6] ČSN EN 1991-1-4. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Praha: ČNI, 2007.
- [7] ČSN EN 1992-1-1. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: ČNI, 2006.
- [8] ČSN EN 1998-1. *Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení - Část 1: Obecná pravidla, seizmická zatížení a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: ČNI, 2006.

9.2 Literatura

- [9] BRADÁČ, Jiří. *Účinky poddolování a ochrana objektů, 1. díl*. Ostrava: Dům techniky Ostrava, 1996.
- [10] BRADÁČ, Jiří. *Účinky poddolování a ochrana objektů, 2. díl*. Ostrava: Dům techniky Ostrava, 1999; ISBN 80-02-01276-3.

- [11] PROCHÁZKA, Jaroslav. *Navrhování betonových konstrukcí 1: Prvky z prostého a železového betonu*. 3. vyd. Praha: ČBS Servis, 2007, 316 s. ISBN 978-80-903807-5-2.

9.3 Internetové zdroje

- [12] Fischer, O.; *Nová norma pro navrhování konstrukcí odolných proti účinkům zemětřesení*; internetový server časopisu Stavebnictví, 2009
http://www.casopisstavebnictvi.cz/nova-norma-pro-navrhovani-konstrukci-odolnychproti-ucinkum-zemetreseni_A2126_I29
- [13] Kubečka, K.; *Vztahy pro přibližný návrh rozměrů železobetonových prvků*;
http://fast10.vsb.cz/kubecka/pbk/priloha_1.pdf
- [14] Marschalko, M.; *Inženýrská geologie*; multimediální učební texty
<http://geologie.vsb.cz/inzgeol/default.htm>
<http://geologie.vsb.cz/inzgeol/sylaby/09%20Geodynamicke%20procesy/091%20kap.htm>
- [15] Odkaz na stránky společnosti Dektrade a.s.: www.dektrade.cz/
<http://dektrade.cz/docs/publikace/sd-ploche-strechy.pdf>
- [16] Odkaz na stránky společnosti Kovové profily, s.r.o.: www.kovprof.cz/
http://www.kovprof.cz/sortiment/prehled_sortimentu.pdf
- [17] Odkaz na stránky společnosti SCIA CZ, s.r.o.: <http://www.scia-online.cz/>
<http://www.scia-online.cz/download/datasheets/esas.06-CZ.pdf>
- [18] Odkaz na stránky společnosti Techfloor, s.r.o.: <http://www.techfloor.cz/>
http://www.techfloor.cz/cz/produkty/16_ACRILE-100.xhtml

10 Seznam obrázků

Obr. 2-1: Průběh spojitých přetvoření terénu	5
Obr. 2-2: Nespojité přetvoření terénu	6
Obr. 2-3: Nerovnoměrný pokles a změna úhlu naklonění podzákladí zakřivením terénu	11
Obr. 2-4: Nerovnoměrný pokles podzákladí nakloněním terénu	12
Obr. 2-5: Vodorovný posuv podzákladí vodorovným poměrným přetvořením terénu	13
Obr. 2-6: Půdorysné zkosení objektu při obecném směru vodorovným poměrným přetvořením terénu	14
Obr. 2-7: Schéma přetváření poddajného objektu	16
Obr. 2-8: Schéma přetváření tuhého objektu	16
Obr. 2-9: Kluzné spáry v základových konstrukcích	18
Obr. 2-10: Dilatační spáry	19
Obr. 2-11: Kluzné spáry v nezákladových konstrukcích	20
Obr. 3-1: Mapa seizmických oblastí ČR [8]	24
Obr. 3-2: Tvar spektra pružné odezvy [12]	25
Obr. 4-1: Statické schéma ŽB stropní desky, krajní podpory kloubové	29
Obr. 4-2: Statické schéma ŽB stropní desky, krajní podpory vetknuté	29
Obr. 4-3: ŽB stropní deska, zatížení stálé	29
Obr. 4-4: ŽB stropní deska, zatížení užitné, jednotlivé zatěžovací stavy	30
Obr. 4-5: ŽB stropní deska-obalová křivka posouvajících sil, krajní podpory kloubové	30
Obr. 4-6: ŽB stropní deska-obalová křivka ohybových momentů, krajní podpory kloubové ..	30
Obr. 4-7: ŽB stropní deska-obalová křivka posouvajících sil, krajní podpory vetknuté	31
Obr. 4-8: ŽB stropní deska-obalová křivka ohybových momentů, krajní podpory vetknuté ..	31
Obr. 4-9: Statické schéma ŽB stropního trámu, krajní podpory kloubové	32
Obr. 4-10: Statické schéma ŽB stropního trámu, krajní podpory vetknuté	32
Obr. 4-11: ŽB stropní trám, zatížení stálé	32
Obr. 4-12: ŽB stropní trám-zatížení užitné, jednotlivé zatěžovací stavy	32
Obr. 4-13: ŽB stropní trám-obalová křivka posouvajících sil, krajní podpory kloubové	33
Obr. 4-14: ŽB stropní trám-obalová křivka ohybových momentů, krajní podpory kloubové ..	33
Obr. 4-15: ŽB stropní trám-obalová křivka posouvajících sil, krajní podpory vetknuté	33
Obr. 4-16: ŽB stropní trám-obalová křivka ohybových momentů, krajní podpory vetknuté ..	33
Obr. 4-17: Statické schéma ŽB střešní desky	34
Obr. 4-18: ŽB střešní deska, zatížení stálé	34

Obr. 4-19: ŽB střešní deska, zatížení sněhem	35
Obr. 4-20: Půdorys střechy, zatížení větrem příčným	37
Obr. 4-21: Půdorys střechy, zatížení větrem podélným	38
Obr. 4-22: ŽB střešní deska, zatížení větrem	38
Obr. 4-23: ŽB střešní deska-obalová křivka posouvajících sil	39
Obr. 4-24: ŽB střešní deska-obalová křivka ohybových momentů	39
Obr. 4-25: Statické schéma ŽB střešního trámu, krajní podpory kloubové	40
Obr. 4-26: Statické schéma ŽB střešního trámu, krajní podpory vetknuté	40
Obr. 4-27: ŽB střešní trám, zatížení stálé	40
Obr. 4-28: ŽB střešní trám, zatížení sněhem	40
Obr. 4-29: Půdorys střechy, zatížení větrem podélným	41
Obr. 4-30: Půdorys střechy, zatížení větrem příčným	42
Obr. 4-31: ŽB střešní trám, zatížení větrem	42
Obr. 4-32: ŽB střešní trám-obalová křivka posouvajících sil, krajní podpory kloubové	42
Obr. 4-33: ŽB střešní trám-obalová křivka ohybových momentů, krajní podpory kloubové ..	43
Obr. 4-34: ŽB střešní trám-obalová křivka posouvajících sil, krajní podpory vetknuté	43
Obr. 4-35: ŽB střešní trám-obalová křivka ohybových momentů, krajní podpory vetknuté ...	43
Obr. 4-36: Statické schéma ŽB rámu	45
Obr. 4-37: ŽB rám, zatížení stálé (vlastní tíha generovaná automaticky softwarem)	46
Obr. 4-38: ŽB rám, zatížení užité	48
Obr. 4-39: ŽB rám, zatížení sněhem	50
Obr. 4-40: Půdorys střechy, zatížení větrem příčným na rám	51
Obr. 4-41: Půdorys střechy, zatížení větrem podélným na rám	51
Obr. 4-42: Půdorys střechy, zatížení větrem podélným na rám	52
Obr. 4-43: ŽB rám, zatížení větrem	53
Obr. 4-44: ŽB rám bez vlivu poddolování-stropní průvlak, obalová křivka posouvajících sil	54
Obr. 4-45: ŽB rám bez vlivu poddolování-stropní průvlak, obalová křivka ohybových momentů	54
Obr. 4-46: ŽB rám bez vlivu poddolování-střešní průvlak, obalová křivka posouvajících sil	55
Obr. 4-47: ŽB rám bez vlivu poddolování-střešní průvlak, obalová křivka ohybových momentů	55
Obr. 4-48: ŽB rám bez vlivu poddolování-sloupy, obalová křivka normálových sil	56
Obr. 4-49: ŽB rám bez vlivu poddolování-sloupy, obalová křivka posouvajících sil	56
Obr. 4-50: ŽB rám bez vlivu poddolování-sloupy, obalová křivka ohybových momentů	56

Obr. 4-51: ŽB rám, zatížení zakřivením terénu	57
Obr. 4-52: ŽB rám, zatížení poklesem terénu	58
Obr. 4-53: ŽB rám, zatížení vodorovným posunem.....	59
Obr. 4-54: ŽB rám s vlivem poddolování-stropní průvlak, obalová křivka posouvajících sil .	64
Obr. 4-55: ŽB rám s vlivem poddolování-stropní průvlak, obalová křivka ohybových momentů.....	64
Obr. 4-56: ŽB rám s vlivem poddolování-střešní průvlak, obalová křivka posouvajících sil .	65
Obr. 4-57: ŽB rám s vlivem poddolování-střešní průvlak, obalová křivka ohybových momentů.....	65
Obr. 4-58: ŽB rám s vlivem poddolování-sloupy, obalová křivka normálových sil.....	66
Obr. 4-59: ŽB rám s vlivem poddolování-sloupy, obalová křivka posouvajících sil	66
Obr. 4-60: ŽB rám s vlivem poddolování-sloupy, obalová křivka ohybových momentů.....	66
Obr. 4-61: ŽB rám s vlivem poddolování, obalová křivka ohybových momentů.....	67
Obr. 4-62: ŽB rám s vlivem poddolování, deformace konstrukce vlivem teploty.....	67
Obr. 4-63: ŽB rám s vlivem poddolování-stropní průvlak, obalová křivka posouvajících sil .	68
Obr. 4-64: ŽB rám s vlivem poddolování-stropní průvlak, obalová křivka ohybových momentů.....	68
Obr. 4-65: ŽB rám s vlivem poddolování-střešní průvlak, obalová křivka posouvajících sil .	69
Obr. 4-66: ŽB rám s vlivem poddolování-střešní průvlak, obalová křivka ohybových momentů.....	69
Obr. 4-67: ŽB rám s vlivem poddolování-sloupy, obalová křivka normálových sil.....	70
Obr. 4-68: ŽB rám s vlivem poddolování-sloupy, obalová křivka posouvajících sil	70
Obr. 4-69: ŽB rám s vlivem poddolování-sloupy, obalová křivka ohybových momentů.....	70
Obr. 4-70: ŽB rám s vlivem poddolování-stropní průvlak, obalová křivka posouvajících sil .	71
Obr. 4-71: ŽB rám s vlivem poddolování-stropní průvlak, obalová křivka ohybových momentů.....	71
Obr. 4-72: ŽB rám s vlivem poddolování-střešní průvlak, obalová křivka posouvajících sil .	72
Obr. 4-73: ŽB rám s vlivem poddolování-střešní průvlak, obalová křivka ohybových momentů.....	72
Obr. 4-74: ŽB rám s vlivem poddolování-sloupy, obalová křivka normálových sil.....	73
Obr. 4-75: ŽB rám s vlivem poddolování-sloupy, obalová křivka posouvajících sil	73
Obr. 4-76: ŽB rám s vlivem poddolování-sloupy, obalová ohybových momentů.....	73
Obr. 5-1: Řez sloupem	118
Obr. 5-2: Interakční diagram	122

Obr. 5-3: Půdorys a řez patky.....	124
Obr. 6-1: Půdorys patky a táhla.....	132
Obr. 6-2: Půdorys patky a táhel.....	134
Obr. 6-3: Půdorys a řez patky.....	135
Obr. 6-4: Řez sloupem	141
Obr. 6-5: Půdorys a řez patky.....	143
Obr. 6-6: Půdorys a řez zvětšené patky	144

11 Seznam tabulek

Tab. 2-1: Skupiny stavenišť na poddolovaném území	7
Tab. 2-2: Hodnoty parametrů spojitého přetvoření terénu	8
Tab. 2-3: Korekční součinitele	10
Tab. 2-4: Součinitel tření v kluzné spáře.....	20
Tab. 4-1: Sedání pod středem základu	62
Tab. 6-1: Výpočet síly T_x	134
Tab. 6-2: Výpočet síly T_x	136
Tab. 7-1: Srovnání vnitřních sil ve stropním průvlaku	152
Tab. 7-2: Srovnání vnitřních sil ve střešním průvlaku	153
Tab. 7-3: Srovnání vnitřních sil v krajních sloupech	154
Tab. 7-4: Srovnání vnitřních sil ve vnitřním sloupu	154
Tab. 7-5: Srovnání hmotnosti výztuže v jednotlivých prvcích	155
Tab. 7-6: Srovnání objemu betonu v jednotlivých prvcích	156

12 Seznam příloh

Příloha č. 1: Výkres výztuže stropní desky D1, M 1:100

Příloha č. 2: Výkres výztuže stropního trámu T1, M 1:25

Příloha č. 3: Výkres výztuže stropního průvlaku P1, M 1:25

Příloha č. 4: Výkres výztuže střešní desky D2, M 1:100

Příloha č. 5: Výkres výztuže střešního trámu T2, M 1:25

Příloha č. 6: Výkres výztuže střešního průvlaku P2, M 1:25

Příloha č. 7: Výkres výztuže krajního sloupu S1, M 1:50

Příloha č. 8: Výkres výztuže vnitřního sloupu S2, M 1:50

Příloha č. 9: Výkres výztuže krajního sloupu S3, M 1:50

Příloha č. 10: Výkres výztuže patky A1, M 1:25

Příloha č. 11: Výkres tvaru, M 1:75

Příloha č. 12: Výkres výztuže stropního průvlaku P1, M 1:25

Příloha č. 13: Výkres výztuže střešního průvlaku P2, M 1:25

Příloha č. 14: Výkres výztuže patky A1, M 1:25

Příloha č. 15: Výkres výztuže táhla H1, M 1:25